

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
ІМ. І. СІКОРСЬКОГО

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ А.І. Жученко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напряму підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: Автоматизація технологічної системи для полімеризації ізобутилену

Виконав студент 4 курсу, групи ЛА-52

_____ Волошин Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник _____ к. т. н., доцент Ярошук Л. Д.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант Охорона праці _____ к. т. н., доцент Ковтун І.М.

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Додаток Д.2. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість листів	Примітка	
1	A4				Завдання на дипломний проект	2		
2	A4	ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ			Пояснювальна записка	70		
3	A4	ДП ЛА52.04.00.000			Д.1. Специфікація устаткування, виробів, матеріалів	23		
4	A4	ДП ЛА52.04.00.000.00			Д.2. Відомість дипломного проекту	1		
5	A1	ДП ЛА52.04.01.000 СхА			Схема автоматизації	1		
6	A2	ДП ЛА52.04.02.000 СхЕ			Принципова електрична схема дистанційного керування з аварійним захистом і технологічним блокуванням електромоторів	1		
7	A2	ДП ЛА52.04.03.000 СхЕ			Схема монтажно-комутаційних з'єднань до принципової електричної схеми з дистанційного керування аварійного захисту та технологічних блокувань електромоторів	1		

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Інженерно-хімічний факультет
(повна назва)

Кафедра Автоматизації хімічних виробництв
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.І. Жученко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Волошину Олександр Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація технологічної системи для полімеризації ізобутилену,

керівник проекту Ярошук Людмила Дем'янівна, к. т. н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» травня 2019 р. № 1525

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту Тиск на вході теплообмінника 1.6 МПа, температура рідкого етилену на вході в теплообмінник мінус 40°C; Тиск на вході випарника 0.1 МПа, температура рідкого етилену на виході з випарника мінус 104°C; температура ізобутилену на вході в дозатор мінус 40°C, на виході дозатора мінус 85°C.

4. Зміст пояснювальної записки

Аналіз хіміко-технологічної системи для полімеризації ізобутилену; розробка схеми автоматизації процесу; математичне моделювання випарника; синтез системи керування випарником; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації хіміко-технологічної системи виробництва поліізобутилену, принципова електрична схема дистанційного керування з аварійним захистом і технологічним блокуванням електромоторів, монтажно-комутаційна схема до системи дистанційного керування з аварійним захистом і технологічним блокуванням електричних двигунів.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І.М., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз процесу виділення ацетилену	01.04.2019	
2	Розробка схеми автоматизації	08.04.2019	
3	Отримання математичної моделі холодильника газу	18.04.2019	
4	Дослідження статичного і динамічного режимів об'єкта керування	25.04.2019	
5	Синтез системи керування	07.05.2019	
6	Розробка креслень	26.05.2019	
7	Охорона праці	02.06.2019	

Студент

(підпис)

Волошин О.С.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Ярошук Л.Д.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить пояснювальну записку об'ємом 70 сторінки, 36 рисунків, 8 таблиці, 3 креслення, 2 додатка й 13 літературних джерел.

Метою проекту є розроблення системи автоматизації процесу полімеризації ізобутилену, яка забезпечить виконання умов, встановлених відповідно до технології процесу, забезпечення показників якості до продукту виробництва, оптимальне використання ресурсів виробництва.

У дипломному проекті розроблені системи автоматизації, дистанційного керування, аварійного захисту та технологічних блокувань електродвигунів та схему їх комутацій. Розраховано похибку та надійність вимірювального контуру по температурі. Розраховані оптимальні параметри регулятора замкнутої системи за каналом «Витрата газоподібного етилену → Температура рідкого етилену на виході».

Одним з основних апаратів, який є необхідним для виробництва – це випарник для етилену. Для цього об'єкту була розроблена математична модель, розраховані статичний та динамічний режим роботи й побудовані відповідні статичні й динамічні характеристики за каналом керування.

Для апроксимованого технологічного об'єкта керування першого порядку із запізнюванням виконано синтез системи з ПІ- регулятором за допомогою спеціального пакету прикладних програм MATLAB. Було використано такі вбудовані підпрограми: SISOTool, PID Tuner та SIMULINK, де регулятор налаштовувався методом Циглера-Нікольса. Також було обрано оптимальне керування, що забезпечило найменше відхилення від заданого значення.

Розроблено заходи з техніки безпеки для забезпечення безпеки на виробництві із врахуванням шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Ключові слова: поліізобутилен, полімеризація, етилен, об'єкт керування, випарник, схема автоматизації, сигналізація та блокування, математична модель, статична характеристика, передатна функція, перехідна характеристика, канал керування.

Abstract

The degree project contains an explanatory note with a volume of 70 pages, 36 figures, 8 tables, 3 drawings, 2 annexes and 13 literary sources.

The aim of the project is to develop an automation system for the process of isobutylene polymerization, which will ensure the fulfillment of the conditions established in accordance with the process technology, the provision of quality indicators to the product of production, optimal use of production resources.

The degree project has developed systems of automation, remote control, emergency protection and technological blocking of electric motors and their commutating scheme. The error and reliability of the measuring circuit at temperature are calculated. The optimal parameters of the regulator of the closed system are calculated on the channel "Flow of gaseous ethylene → Temperature of liquid ethylene at the outlet".

One of the main apparatus, which is necessary for production, is an evaporator for ethylene. For this object a mathematical model was developed, static and dynamic operating modes were calculated, and corresponding static and dynamic characteristics were constructed along the control channel.

For an approximated technological first-order control object with a delay, the synthesis of a system with a PI-regulator was performed using a special package of applications MATLAB. The following built-in subroutines were used: SISOTool, PID Tuner and SIMULINK, where the regulator was configured by the Ziegler-Nichols method. Also, optimal control was selected, which ensured the least deviation from the set value.

Safety measures have been developed to ensure industrial safety, taking into account harmful and hazardous production factors.

Key words: polyisobutylene, polymerization, ethylene, control object, evaporator, automation scheme, signaling and blocking, mathematical model, static characteristic, transfer function, transient characteristic, control channel.

Зміст

Вступ.....	8
1. Переддипломне дослідження технологічної.....	10
1.1. Властивості поліізобутилену.....	10
1.2. Фізико-хімічні основи виробництва поліізобутилену.....	13
1.3. Опис технологічної схеми процесу полімеризації етилену.....	20
1.4. Характеристика об'єкта керування.....	24
1.5. Приклади автоматизації об'єкта керування.....	26
1.6. Постановка задачі дослідження.....	29
2. Створення системи автоматизації процесу полімеризації ізобутилену.....	30
2.1. Аналіз параметрів процесу полімеризації ізобутилену.....	30
2.2. Опис схеми автоматизації.....	31
2.3. Опис схеми дистанційного керування двигунами з аварійним захистом і технологічним блокуванням.....	34
2.3.1. Дистанційне керування двигунами.....	35
2.3.2. Блокування, сигналізація, захист.....	35
2.4. Розрахунок точності вимірювального каналу №1.....	38
2.5. Розрахунок надійності вимірювального каналу №1.....	41
3. Математичне моделювання процесу випаровування.....	44
4. Синтез системи керування температури	54
4.1. Налаштування регулятора.....	54
4.2. Статична оптимізація керування температури.....	64
5. Охорона праці.....	70
5.1. Повітря робочої зони.....	70
5.2. Виробничий шум.....	72
5.3. Електробезпека.....	72
5.4. Пожежна безпека.....	74
6. Висновки.....	77
7. Список використаної літератури.....	78

Вступ

Завдяки своїм особливостям, поліізобутилен має широке застосування в найрізноманітніших галузях промисловості. Области застосування поліізобутилену поступово розширюються, що спричиняє збільшення використання полімеру, а це, в свою чергу, викликає прогрес в області його дослідження, накопичення як експериментальних так і теоретичних знань.

Поліізобутилен застосовується для електроізолювання проводів для захисту апаратури від внутрішньої чи зовнішньої корозії, як доповнення до поліетилену. Його можна використати як матеріал-ущільнювач для водонепроникної ізоляції і отримання виробів, які використовуються при температурі від мінус 60 °С до +70 °С. Як правило чистий поліізобутилен не використовується, оскільки йому притаманна підвищена холодотекучість. Основні закономірності полімеризації були встановлені С. В. Лебедевим [1], що дозволило розробити способи отримання як низько- так і високомолекулярних полімерів.

Високомолекулярний поліізобутилен – це полімер, що має молекулярну масу 120000—200000 г/моль. Його вуглеводневі розчини та водні дисперсії використовують як клеї у виробництві штучного хутра, замші та інших матеріалів на текстильній основі. Поєднання очищеного парафіну з поліізобутиленом та водні дисперсії полімеру застосовують для покриття сирів та інших харчових продуктів. У будівельній техніці застосування знаходять в основному тверді поліізобутилени, що володіють середньою молекулярною масою 100 000-500 000 г/моль. Їх застосовують для створення гідроізоляційних матеріалів, для герметизації горизонтальних і вертикальних стиків у великопанельних будівлях. Можливе застосування його у вигляді гідроізоляційних плівок, створення гідроізоляційних мембран, а також клеїв для лінолеуму (марки П-155 і П-200).

Низькомолекулярний поліізобутилен (полімер з молекулярною масою не більше 50000 г/моль) застосовують як доповнення для згущення мастильних масел і консистентних мастил, основу різних герметиків, ізоляційні масла для кабелів, конденсаторні та трансформаторні масла, а також для просочення ізоля-

ційної паперу та інших волокнистих матеріалів, призначених для обмотки електричних кабелів, для виготовлення клейких і ізоляційних стрічок, пластирів і так далі.

У сучасних умовах дуже важливо використовувати найновіші технології. Ринкова конкуренція та науково-технічний прогрес обумовлюють необхідність зниження енергоємності та підвищення продуктивності. Також для масового виробництва поліізобутилену потрібної якості треба підтримувати певні параметри та задовольняти необхідні умови. Найбільш раціональним шляхом вирішення цієї задачі є впровадження автоматизації виробництва. Такі напрямки розвитку інженерної думки зробили питання пошуку ефективних алгоритмів керування та їх реалізації сучасними технологічними засобами, підвищення надійності елементів складних автоматизованих систем та їх оптимального налаштування надзвичайно актуальними.

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						9
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

1. ПЕРЕДДИПЛОМНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

1.1. Властивості поліізобутилену

Поліізобутилен є полімером ізобутилену, який характеризується подвійним зв'язком і асиметрією молекул, що дозволяє йому легко полімеризуватися. Загальна формула: $[-C(CH_3)_2-CH_2-]_n$. Вперше цю речовину отримав А. М. Бутлеров у 1873 р. [2]. Хімічні та фізичні властивості поліізобутилену суттєво залежать від своєї молекулярної маси. Полімер з довжиною ланцюгів (молекулярною масою) менше

50 000 г/моль є рідиною, в'язкість якої підвищується зі збільшенням ступеня полімеризації; при молекулярній масі від 70 000 до 200 000 г/моль і вище ми отримуємо майже безбарвний каучукоподібний еластичний матеріал. Довжина ланцюга полімеру залежить в основному від умов полімеризації (зокрема від температури), чистоти і концентрації мономера та виду каталізатора. Використовується кілька видів промислових марок поліізобутилену, що розрізняються молекулярною масою. У табл. 1.1 наведено марки полімеру та молекулярна маса, що їм відповідає [3].

Таблиця 1.1. Відповідність між маркою та молекулярною масою поліізобутилену

Марка	Молекулярна маса, г/моль
П-200	225 000 - 175 000
П-155	175 000 - 135 000
П-118	135 000 - 100 000
П-85	100 000 - 70 000
П-20	25 000 - 15 000

Високомолекулярному поліізобутилену властива ціла низка корисних властивостей: такий же легкий, як поліетилен, але, на відміну від нього, більш стійкий до холоду та агресивних середовищ, характеризується значнішою еластичністю та розчинністю. Іншою важливою властивістю полімеру є його здатність в

великій кількості (до 90%) сприймати різні наповнювачі. За допомогою таких активних наповнювачів як сажа, графіт, тальк можна збільшити міцність та жорсткість композицій, зменшити плинність, але це, в свою чергу, збільшує стійкість полімеру до світла і атмосферного кисню. Поліізобутилен має дуже слабкі механічні властивості: звичайними засобами їх можна виміряти лише в полімерах з молекулярною масою починаючи з 150 000 г/моль. Під дією сонячного чи ультрафіолетового світла він поступово руйнується (необхідні домішки). Густина при 25°C дорівнює 0,91 – 0,93 г/см³. Морозостійкість поліізобутилену – мінус 50°C: до цієї температури він зберігає еластичність, при подальшому зниженні температури повільно втрачає її, стає крихким. При нагріванні до 100 °C поліізобутилен проявляє пластичність, він легко формується при 180-200°C. Термічна дія в 345°C і вище призведе до дегідратації та деполімеризації поліізобутилену, його розкладу з утворенням маслянистих і газоподібних продуктів. Він має коефіцієнт теплопровідності 0,116 - 0,139 Вт/(м·К). Питомий електричний опір: речовини $1 \cdot 10^{13}$ – $1 \cdot 10^{14}$ Ом·м. Коефіцієнт водопоглинення дорівнює 0,05 %. Відносне подовження при розриві: 550 – 1000 %. Поліізобутилену властива низька газо- та паропроникність, низька міцність та повзучість (під дією власної ваги тече на холоді).

Розчиняється високомолекулярний поліізобутилен в аліфатичних, ароматичних і хлорованих вуглеводнях (бензолі, толуолі и т.д.), сірковуглецю, мінеральних маслах. Не здатні його розчинити полярні розчинники – кетони, спирти, складні ефіри; вода. В діетиловім ефірі, складних ефірах, жирах та рослинний маслах набухає.

Поліізобутилен має особливість – при розтягуванні він здатний легко кристалізуватися, створюючи цим чітку рентгенограму орієнтацій кристалів. Але кристалічна фаза зберігається лише в розтягнутому полімері – при скороченні вона знов стає аморфною.

Низькомолекулярний поліізобутилен – це полімер ізобутилену з молекулярною масою в межах 8 700 – 25 000 г/моль; рідина в'язкість якої збільшується зі

збільшенням молекулярної маси. Густина при 20 °С дорівнює 0,880 - 0,910 г/см³; температура загорання 130 – 240 °С.

Низькомолекулярний поліізобутилен добре розчиняється в тих же розчинниках, що й високомолекулярний поліізобутилен, частково розчиняється у вищих спиртах та складних ефірах; має високу хімічну стійкість та гарні діелектричні властивості. Його стабілізують шляхом доповнення невеликих порцій інгібіторів.

Поліізобутилен - один з найбільш інертних полімерів. В хімічній стійкості він поступається місцем лише поліетилену та політетрафторетилену. Цим полімер відрізняється від більшості натуральних та штучних каучуків. Високомолекулярний поліізобутилен має високу хімічну стійкість і водостійкість. При нормальній температурі він не зазнає впливу розбавлених і концентрованих кислот, як органічних (HCOOH, CH₃COOH), так і неорганічних (H₂SO₄ (98,8 %), HNO₃ (50 %), HCl (37 %)), лугів (NaOH (40 %)), солей галогену, нижчих спиртів, кетонів, складних ефірів чи інших полярних розчинників. При нагріванні руйнується дією HNO₃ та інших кислот. При 17 °С поліізобутилен не стійкий до рідких та газоподібних Cl₂ і Br₂ та їх водяних розчинів, озону.[2] Недоліком поліізобутилену є те, що на відміну від каучуку, він не здатний до реакції вулканізації («зшивці» мікромолекулами). Усі ці властивості пояснюється відсутністю в полімері подвійних зв'язків. Уведення в поліізобутилен додаткових активних наповнювачів (графіт) підвищить його хімічну стійкість.

На кінцеві C = C- зв'язки можна діяти реакціями хлорування, фосфорування, сульфування, сульfoxлорування, окислення, озонування, що спричиняє суттєву зміну параметрів полімеру: хімічна будова кінцевих груп, хімічна природа основного ланцюга, зміна її довжини. Це, в свою чергу має вплив на фізичні параметри поліізобутилену [4]. Так, наприклад, на сонячному світлі чи при ультрафіолетовому опроміненні за наявності кисню полімер нестабільний, зазнає руйнування, набуває при цьому липкість. В розсіяному світлі і при нормальній тем-

пературі проявляє стійкість. Дія озону на розчини поліізобутилену викликає зменшення молекулярної маси полімеру та накопичення кисневмісних функціональних груп в кінці ланцюга полімеру (кислот, кетонів, пероксидів та інших).

Поліізобутилен переробляють на звичайному, не спеціалізованому обладнанні гумової промисловості: екструдери за температури 150-200 °С, преси - 150-190 °С, вальці 160-200 °С. Молекулярна маса полімеру при такій обробці майже не змінюється. Але за температури 100 °С та нижче тривала механічна дія на нього призведе до деструкції. Його технологічні властивості можна значно покращити шляхом уведення наповнювачів та підвищення температури переробки. Так, наприклад, відносне видовження звичайного поліізобутилену дорівнює 500-1000 %, а для наповненого - відповідно 20-550 %. [4].

1.2. Фізико-хімічні основи виробництва поліізобутилену

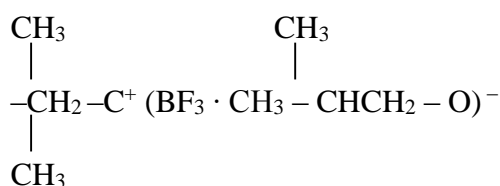
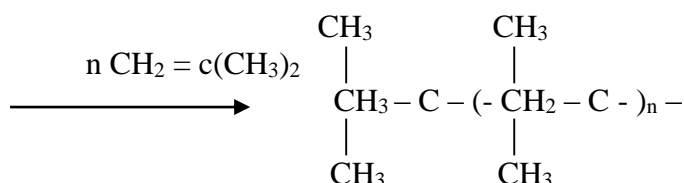
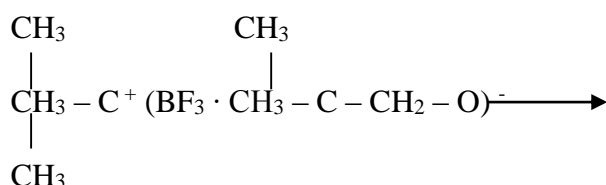
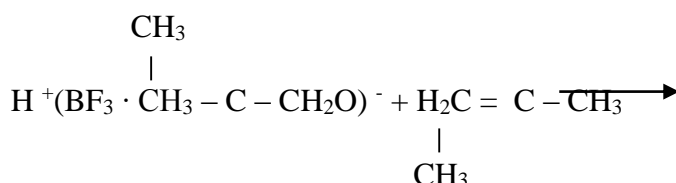
Оскільки полімеризація ізобутилену відбувається в розчині, варто зазначити кілька особливостей реакції такого типу. За рахунок рівномірного розподілу мономеру в розчиннику полімеризація відбувається в однорідному середовищі. Весь процес відбувається в рухомому рідкому середовищі. Це значно полегшує відведення виділеного тепла з апарата. Недоліками такого методу є необхідність видаляти залишки розчинника з полімеру та в сповільненні реакції полімеризації [5]. але конкретно для цього процесу сповільнена реакція не характерна, оскільки вона займає максимум кілька секунд.

Полімеризація поліізобутилену супроводжується значним відділенням тепла (10 000 кал/моль). Це призводить до підвищення температури в зоні реакції, що спричиняє протікання процесу в небажаному напрямку: на виході будемо мати низкомолекулярний поліізобутилен. Зниження температури сприяє полімеризації, підвищення – навпаки, сприяє деполімеризації (при температурі вище 200 °С відбувається тільки деполімеризація). Тому основна технічна задача у виробництві високомолекулярного полімеру - це підтримка необхідної низької температури. Оскільки реакція проходить дуже швидко, то звичайний тепловідведення (охолодження речовини водою чи іншими сумішами) тут

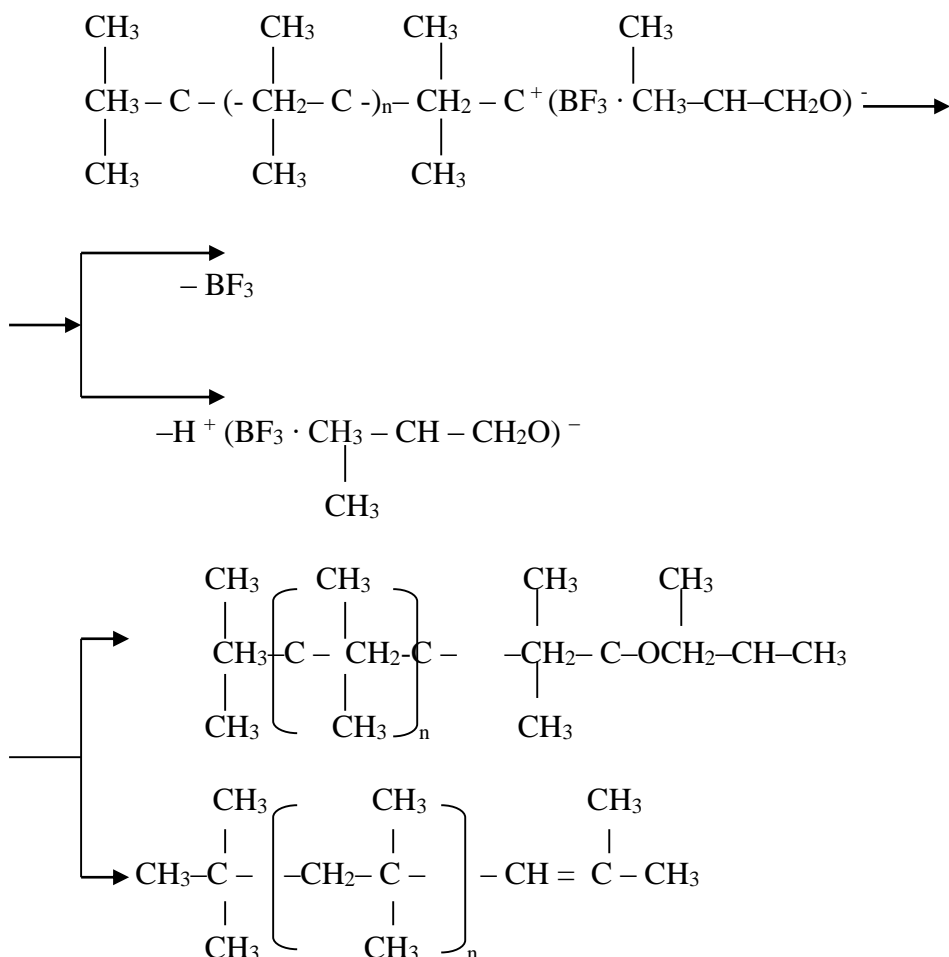
					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						13
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

абсолютно не підходить тому промислове виробництво потребує охолоджених розчинників, яким є рідкий етилен за температури мінус 104 °С. Рідкий етилен (CH₂ = CH₂) не вступає хімічну реакцію з жодною речовиною цього виробництва, а створює необхідні для полімеризації умови, завдяки чому цей процес відбувається швидко та безпечно. Полімеризація супроводжується виділенням тепла, яке відводиться за рахунок випаровування розчинника. Це дозволяє підтримувати низьку температуру (—100 °С) в зоні полімеризації, яка є необхідною для отримання високомолекулярного поліізобутилену. Чим нижче температура полімеризації, тим вище його молекулярна маса. Поліізобутилен з молекулярною масою більше 100 000 г/моль може бути отриманий лише за температури нижче мінус 85 °С [4].

Процес полімеризації проходить за катіонним механізмом [6]:



Обрив ланцюга йде через приєднання аніона або відщеплення протона:



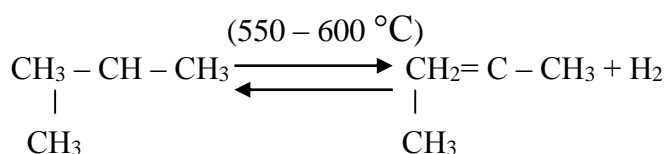
Каучкоподібний поліізобутилен у цьому разі має молекулярну масу від 120 000 до 300 000 г/моль.

Промислове виробництво потребує певні речовини, що задіюються на різних етапах створення продукції. До них належить: власне сировина та різноманітні каталізатори, стабілізатори та розчинники [7].

Для виготовлення поліізобутилену основною вихідною сировиною є ізобутилен (C_4H_8). Його отримують з газових сумішей - побічних продуктів, що утворюються при переробці нафти (крекінг, піроліз). Газова суміш, яка піддається процедурі фракціонування, має, приблизно, такий склад: ізобутилен, (10 – 20 %) м-бутилен, н-бутан, ізобутан та інші газоподібні вуглеводні. Після виділення ізобутилену залишки суміші проходить ізомеризацію, що спричиняє утворення разом з ізобутиленом ізобутану $(\text{CH}_3)_3\text{CH}$. Останній завдяки дегідрогенізації перетворюється на суміш газів, яка містить ізобутилен. Існує ціла низка фізичних (до яких слід віднести дистиляцію, ректифікацію, абсорбцію) та хімічних методів

(завдяки дії сірчаної кислоти, мідних солей, фенолів і інших реагентів) для його вилучення [4]. Також ізобутилен можна отримати в значній кількості з природного газу шляхом каталітичного дегідрування. Це найбільш поширений спосіб його одержання в промисловості.

Процес відбувається за температури 550 – 600 °С та наявності алюмо-хромового каталізатора:



Ізобутилен має бути очищений від домішок, оскільки вони негативно впливають на полімеризацію [2]. За нормальних умов ізобутилен це безбарвний газ. Його молекулярна маса 56,11 г/моль, густина 590 кг/м³. температура плавлення мінус 140,4 °С, температура кипіння мінус 6,9 °С. Вміст ізобутилену в повітрі, що досягає 1,7-9,0% (за обсягом), вибухонебезпечний. Транспортування та зберігання ізобутилену здійснюється під тиском в рідкому стані у спеціальних резервуарах [7]. Ізобутилен при вдиханні викликає наркотичну дію, але не спричиняє отруєння організму.

Полімеризація високомолекулярного поліізобутилену відбувається лише за наявності каталізаторів. Каталізаторами при полімеризації є численні органічні та неорганічні речовини. В промисловості найчастіше використовують галогеніди металів BF₃, AlCl₃, AlBr₃, TiCl₄, TiBr₄ та ін. У табл. 1.2 наведено як той чи інший каталізатор впливає на хід реакції та її результат. Швидкість полімеризації можна регулювати зміною вмісту каталізатора в реакційній суміші чи зниженням її температури [7].

Таблиця 1.2. Вплив каталізаторів на процес полімеризації ізобутилену

Каталізатор	Вміст каталізатора, %	Вміст ізобутилену, %	Час полімеризації	Вихід полімеру, %	Молекулярна маса, г/моль
1	2	3	4	5	6
BF ₃	0,05	10	частки секунд	10	120 000-150 000
AlBr ₃	0,05	20	1-5 хв.	70-90	120 000-150 000

Продовження Табл. 1.2

1	2	3	4	5	6
TiCl ₄	0,12-0,25	30	20-70 хв.	35-50	100 000-130 000
TiBr ₄	1,0-1,5	30-50	12-18 г.	30-50	70 000-90 000
BCl ₃	0,9-1,5	40-50	12-18 г.	0,5-1,5	30 000-50 000
BBr ₃	0,6-1,0	50	12-18 г.	0,5-1,5	20 000-30 000
SnCl ₄	1,5-4,5	50	17-50 г.	10-18	12 000-25 000

Як можна побачити, найактивніший каталізатор це трифтористий бор. З ним реакція проходить настільки швидко, що існує реальна загроза вибуху. BF₃ це безбарвний газ, що переходить в рідкий стан при температурі мінус 100 °С, а при мінус 127 °С переходить в твердий стан. Фтористий бор має суттєві переваги порівняно з іншими каталізаторами: оскільки це газоподібна речовина, його легко дозувати чи змішувати з іншими компонентами, що необхідні для полімеризації, його можна швидко виділити з полімеру шляхом нагрівання [7]. Каталізатор також можна розкласти або нейтралізувати в реакційній суміші. Відомо багато реагентів для розкладання каталізатора: спирти - метиловий, етиловий та ін.; ефіри, ацетон, фурфурол, ацетальдегід, водні та спиртові розчини луги, аміак, кислоти та ін.

На рис.1.1 показано вплив кількості каталізатора BF₃ на хід реакції полімеризації [2], а у табл. 1.3 наведено залежність молекулярної маси полімеру від температури полімеризації.

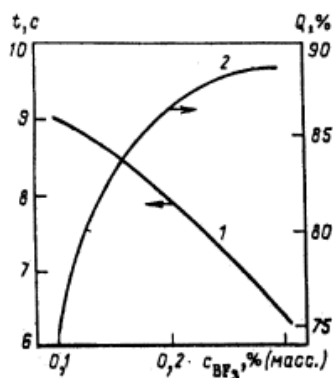


Рисунок 1.1 Залежність тривалості полімеризації ізобутилену (1) та виходу полімеру (2) від вмісту фтористого бору в реакційній суміші

Таблиця 1.3. Вплив різних температур на процес полімеризації ізобутилену при BF_3

Температура, °C	-10	-25	-45	-80	-90	-105
Молекулярна маса, г/моль	10 000	13 000	25 000	80 000	120 000	220 000

Для прискорення процесу полімеризації використовують також співкаталізатори (прискорювачі). Прискорювачі використовуються в малих дозах (до 1% реакційної суміші). Вони позитивно впливають на перебіг реакції: збільшується її швидкість проходження з одного боку та зменшується потрібна для отримання високомолекулярного полімеру кількість каталізатора; підвищують молекулярну масу вихідного полімеру [7]. Якщо кількість співкаталізатора перевищує потрібну то, як правило, він проявляє негативний вплив на полімеризацію, сприяє деполімеризації. Прискорювачами можуть бути кислоти (сірчана, азотна, плавикова та ін), спирти (метиловий, етиловий, бензоловий і т. д.), феноли, хлористий водень. Вони викликають появу іонів, що, в свою чергу, спричиняє каталітичну реакцію [6].

Високомолекулярний полімер ізобутилену має негативну властивість легко піддаватись деструкції. Це ускладнює процес полімеризації. Щоб уникнути цього ефекту використовують стабілізатори. До них належить, наприклад, трет-бутилфенолсульфід, що вводиться після полімеризації. Стабілізуючу дію також проявляють такі сполуки, які мають ароматичні й гідроксильні аміно- і сульфідогрупи.

Щоб отримати високомолекулярний поліізобутилен необхідно дотримуватися відповідного температурного режиму [2]. Це ускладняється високою екзотермічністю процесу (величина виділеного тепла дорівнює близько 42 кДж/моль [7]). Для вирішення цієї проблеми до реакційної суміші додають спеціальні розчинники, що відводять тепло. Завдяки ним підтримується потрібна для полімеризації температура (приблизно мінус 100 °C). Без використання розчинника підтримка потрібної температури, була б практично неможливою через велику швидкість протікання реакції (вона відбувається майже миттєво).

Існує два типи охолодження: внутрішнє (розчинник одночасно є також холодоагентом і відводить теплоту реакції через випаровування) і зовнішнє (холодоагент діє на реакційну суміш через поверхню охолодження). Як розчинники використовують охолоджений рідкий етилен, бутілен, етан, бутан та інші граничні вуглеводні, а також тверду вуглекислоту. Як правило, перевагу віддають етилену ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) [4]. Це пояснюється тим, що він має найбільший вплив на молекулярну масу поліізобутилену [2].

Вміст розчинника в реакційній суміші має вплив на молекулярну масу полімеру, швидкість полімеризації ізобутилену, температуру в зоні реакції. Це, в свою чергу, впливає на властивості отриманої продукції. Зі зменшенням частки розчинника збільшується швидкість реакції, але це також знижує вихід полімеру. Розрахуємо мінімальну кількість етилену. Полімеризація характеризується виділенням 10 000 кал/моль. Молекулярна маса ізобутилену дорівнює 56 г/моль. Це означає, що при полімеризації 56 кг мономеру віділлється 10 000 ккал/моль тепла. Це відповідає $\frac{10000}{56} = 178.6$ ккал/кг теплоти. На випаровування 1 кг етилену потрібно 118.5 ккал теплоти. Звідси отримаємо необхідну величину рідкого етилену: $\frac{10000}{118.5} = 84$ кг. Тепер розрахуємо питому витрату етилену, яка потрібна для полімеризації 1 кг ізобутилену: $\frac{84}{56} = 1.5$ кг.

Отже, для полімеризації деякої маси m кг мономеру при підтримці постійної температури в мінус 100 °C потрібно не менше 1.5 m кг рідкого етилену. Варто відзначити, що реальний процес вимагає більшої кількості розчинника, порівняно з теоретичними даними. Також слід додати, що в цих розрахунках не враховуються каталізатор та стабілізатор, які мають подаватись в полімеризатор, знаходячись в розчині поліізобутилену [5]. Найбільш оптимальне значення ізобутилену в розчиннику - від 15 до 30 %. Чисельно вплив кількості розчинника на реакцію зображено на табл.1.4 [2].

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						19
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця.1.4. Вплив співвідношення масових витрат між етиленом та ізобутиленом на параметри полімеризації

Масове співвідношення етилену до ізобутилену	Час реакції, с	Вихід полімеру, % (масовий)	Молекулярна маса $M \cdot 10^{-3}$
4:1	9	91,6	215
2.5:1	6	89,4	180
2:1	4	84,5	145
1.25:1	миттєво	65,4	100*
1.0:1	миттєво	55,4	72**

Примітка: * – Сильне закипання; ** – дуже сильне закипання.

Також варто відзначити наявність в реакційній суміші таких речовин як інгібітори - речовин, що затримують процес полімеризації і зменшують молекулярну масу вихідної продукції (алкадієни) та інертних речовин, які не мають помітного впливу на хід реакції. Ці домішки з'являються в реакційній суміші внаслідок недостатнього очищення вихідної сировини [2].

1.3. Опис технологічної схеми процесу полімеризації етилену

Існує дві основні технології промислового виробництва високомолекулярного поліізобутилену. Полімери виду «Опанол» («Baische Anilin und Soda A. G.», виробляється в Німеччині) з молекулярною масою в межах 80 000-225 000 полімеризуються з ізобутилену на нескінченній рухомій стрічці в середовищі рідкого етилену з наявністю фтористого бора як каталізатора за температури нижче мінус 85 °С.

Інший варіант – полімер типу «Вистанекс» (марки П-50 та П-118) фірми «Enjay» США, що виникає в розчині етилхлориду чи метилхлориду за наявності $AlCl_3$ в якості каталізатора. В даній роботі розглядається виробництво полімеру

типу «Опанол». Процес його виготовлення характеризується значною екзотермічністю, та, при контакті з каталізатором, вибухонебезпечністю (при контакті з каталізатором миттєво відбувається полімеризація ізобутилену).

На рис.1.2 показано технологічну схему отримання полімеру типу «Опанол».

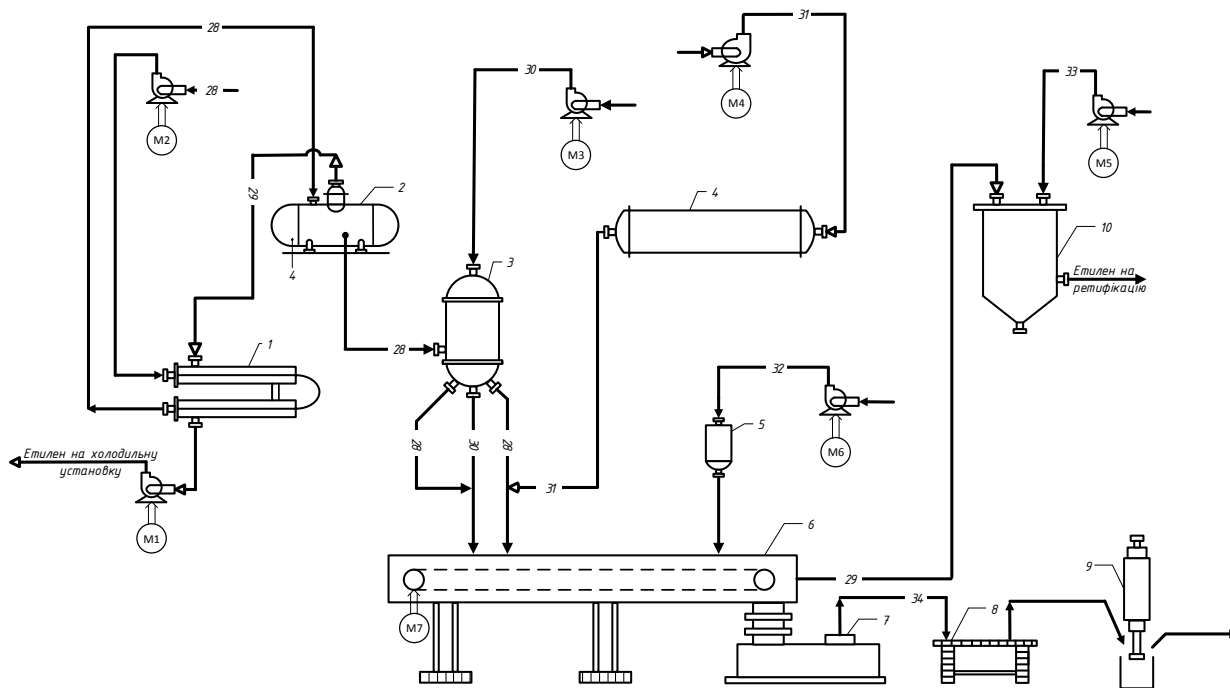


Рисунок. 1.2. Технологічний процес отримання поліізобутилену

1 – холодильник типу «труба в трубі»; 2 – випарник; 3 – дозатор ізобутилену; 4 – ємність каталізатора; 5 – ємність стабілізатора; 6 – полімерізатор; 7 – змішувач; 8 – стіл для охолодження; 9 – прес; 10 – скруббер. Матеріальні потоки: 28 – рідкий етилен; 29 – газоподібний етилен; 30 – ізобутилен-ретифікат; 31 – фтористий бор; 32 – стабілізатор; 33 – вапно; 34 – поліізобутилен.

Технологічний процес отримання поліізобутилену здійснюється таким чином.

Рідкий етилен при -40°C під тиском 16 атм. подається в холодильник 1, у якому додатково охолоджується газоподібним етиленом, що надходить із випарника 2. Далі з теплообмінника етилен дроселюється, знижуючи тиск до атмосферного (0,1 МПа), надходить у випарник 2, де також додатково охолоджується шляхом випаровування деякої його частини при температурі мінус 104°C (температура кипіння рідкого етилену). Газоподібний етилен з випарника надходить у міжтрубний простір холодильника 1 та направляється на холодильну установку, після якої повертається в процес через трубний простір холодильника 1; рі-

дкий – в апарат 3, де він охолоджує змійовик, куди надходить ізобутилен-ректифікат, попередньо очищений від домішок [99,99 % (мас)] та охолоджений до мінус 40 °С [8].

Рідкий етилен виходить з міжтрубного простору дозатора 3 двома потоками: перший потік в заданому співвідношенні: 1:1 (суміш мономера з розчинником повинна бути рівних обсягів) змішується в трубопроводі з охолодженням до мінус 85-95 °С рідким ізобутиленом (ізобутилен випливає з змійовика дозатору 3, а етилен - з його корпусу) і суміш, що утворилася, направляється на рухому стрічку транспортер полімеризатора 6. Одночасно з іншого трубопроводу другий потік змішується з каталізатором BF_3 , який дозується в мірнику 4. Це необхідно, оскільки фтористий бор є газом (див п. 1.2). Каталізатор розбавляється до 0,3 % та надходить на стрічку полімеризатора.

Полімеризатор – це герметичний циліндричний металевий короб, де зі швидкістю від 15 до 60 м/хв безперервно рухається нескінченна стрічка, натягнута на два барабани. Вона виготовлена зі спеціальної нержавіючої сталі товщиною 0,6 мм. ширина стрічки — 350-450 мм, довжина 800-1 000 см [4].

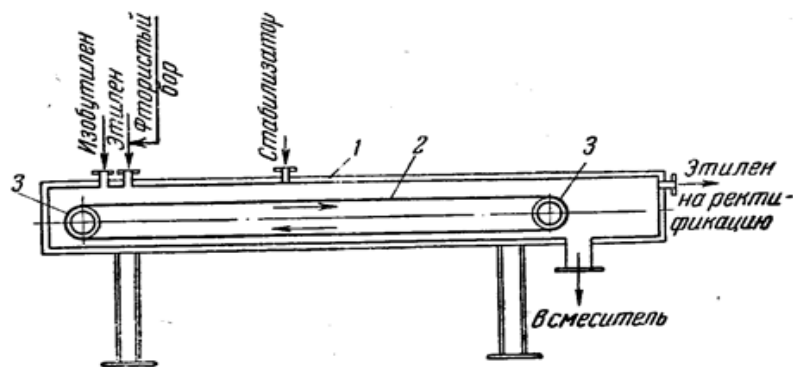


Рисунок. 1.3. Схема конструкції полімеризатора для отримання поліізобутилену: 1 – короб; 2 – стрічка; 3 – барабани

При змішуванні з каталізатором миттєво (від часток до кількох секунд) відбувається полімеризація і на стрічці утворюється шар поліізобутилену товщиною близько 20 - 30 мм. Цей процес проходить на рухомій стрічці безперервно. В даних умовах ізобутилен полімеризується майже повністю. За рахунок виділе-

ного при цьому тепла рідкий етилен випаровується. Регулювання швидкості полімеризації проводиться шляхом зниження температури реакційної суміші і концентрації каталізатора. Каучук перебуває на стрічці від 9 до 36 с. [5].

Однак у процесі роботи відбувається прилипання полімеру до стінок полімеризатора, що є суттєвою проблемою у виробництві, оскільки ускладнює проведення неперервного процесу. Тому установку слід періодично зупиняти для очищення. Це призводить до перетворення безперервного процесу до періодичного з періодом в кілька діб. Для вирішення цієї проблеми доцільно мати два чи більше паралельно включених полімеризаторів. Очищення здійснюють з допомогою розчинників або рідин, що володіють сильною змочувальній здатності до матеріалу стінок реактора. [2]

Для розкладання каталізатора, що залишився в полімері, та запобігання деполімеризації поліізобутилену при нагріванні в кінці горизонтальної ділянки стрічки полімеризатора з ємності 5 безперервно подається розчин стабілізатора (20%-ний розчин третбутилфенолсульфіду в низькомолекулярному поліізобутилені) [3]. Нормальне функціонування полімеризатора вимагає ретельного дозування усіх речовин, які входять в реакційну суміш. Виділення поліізобутилену з реакційної суміші починається в самому полімеризаторі та закінчується в змішувачі.

Поступово, рухаючись на стрічці, полімер дегазується: рідкий етилен випаровується, виходить з полімеризатора разом з невеликою кількістю неполімеризованого ізобутилену і газоподібного трифтористого бору (0,2-0,3 %) і надходить у скруббер 10. Скруббер містить негашене вапно, яке очищає газову суміш від залишків каталізатора. Після виділення фтористого бору ця суміш газів надходить на ректифікацію. Звідти етилен, який повністю пройшов виробничий цикл (з теплообмінника до скруббера) знову повертається в самий початок, до теплообмінника, до холодильного циклу. Регенерація каталізатора, який був нейтралізований лугом, не проводиться.

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						23
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Після виходу з полімеризаторів поліізобутилен захоплюється валками змішувача 7, обігрівается глухим паром під тиском 1,2 МПа, з якого при температурі близько 100 °С видаляється решта газів. Тут полімер нагрівається, змішується і додатково дегазується. Полотно полімеру, що виходить із змішувача нагрітим до 100 °С, ріжеться спеціальним ножом на шматки. Після цього вони охолоджуються обдуванням повітря на транспортері та столі 9 та подаються до преса 10. Це займає не більше 10 хвилин. Далі готову продукцію пакують у мішки, на яких вказуються марки полімеру [5].

1.4 Характеристика об'єкта керування

Виготовлення поліізобутилену – складний технологічний процес керування. Полімеризації властива значна екзотермічність, а для отримання високомолекулярного полімеру вона повинна проходити за температури в мінус 100 °С та за наявності каталізатора. Тому реакційна суміш потребує розчинника, яким виступає охолоджений до рідкого стану етилен. Його температура – мінус 104 °С, він не вступає в реакцію з сумішшю. Найефективніший спосіб отримання такого етилену – випаровування. Випарник етилену є одним з ключових апаратів в технологічній системі полімеризації ізобутилену, оскільки він безпосередньо впливає на тепловим режимом полімеризації.

Випарник – це теплообмінний апарат, в якому за рахунок кипіння холодильного агента теплота відводиться від об'єкта охолодження.

За принципом дії випарники аналогічні конденсаторам, але відрізняються тим, що в конденсаторах холодильний агент віддає тепло навколишньому середовищу, а у випарниках поглинає його з охолоджуваного середовища.

Варто зазначити суттєву зв'язаність режимних параметрів випарника. Зміна одного з них спричиняє певну зміну інших. Так, рівень та тиск взаємопов'язані один з одним; за рахунок зміни тиску змінюється температура в апараті; витрата газоподібного етилену впливає на тиск (а отже і на температуру та рівень). На цьому ґрунтується принцип роботи випарника. Під час зміни

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						24
Зм..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

об'єму газу всередині апарату змінюється тиск, що впливає на швидкість випаровування надлишків рідкого етилену, який надійшов у об'єкт [12]. За рахунок цього, його температура знижується.

Охолоджений рідкий етилен використовують для забезпечення полімеризації поліізобутилену, а газоподібний етилен відводять. Основним технологічним параметром об'єкту керування є температура рідкого етилену на виході з апарата. Рівень рідини та тиск, які впливають на правильне функціонування апарату, також вважаємо важливими змінними.

По тоннажу продукції належить до малотоннажних ТОК, оскільки об'єкт характеризується невеликими обсягами виробництва.

По часовому режиму виробництва апарат є ТОК неперервної дії, адже випарник працює безперервно; на вхід випарника безперервно подається рідкий етилен, а на виході одночасно безперервно відводиться охолоджений рідкий етилен та його пари: технологічний процес ведеться в установленому режимі.

По степеню важливості ТОК усьому процесі виробництва поліізобутилену випарник належить до основних: від роботи цього апарату залежить якість кінцевої продукції, її кількість, безпечність протікання процесу – він необхідний для реалізації основного технологічного процесу.

По характеру параметрів управління: об'єкт з розподіленими параметрами, оскільки температура речовини різних точках випарника приблизно близька, але не однакова.

Апарату характерні такі типи технологічних процесів: тепловий (тут відбувається перенос енергії в тепловій формі від одного середовища до іншого) та масообмінний (частина речовини переходить з одного агрегатного стану в інший).

На рисунку 1.4 наведений випарник для етилену.

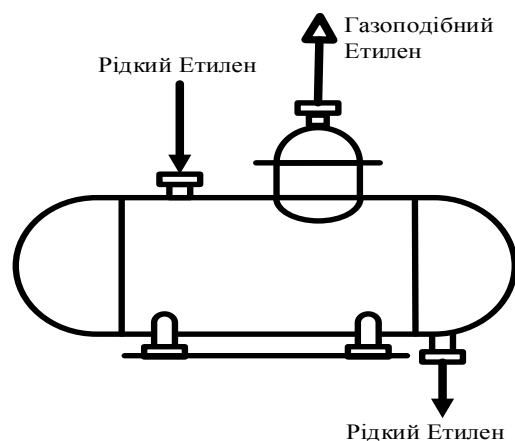


Рисунок 1.4. Випарник для етилену

1.5. Приклади автоматизації об'єкта керування

1). Варіант автоматизації випарника етилену у виробництві поліізобутилену, запропонований Кононенком А. Д. та Жученком О. А. [9].

Вони досліджували той самий апарат, а отже стикнулися з тими ж проблемами та конструктивними особливостями апарату. Тому, мені здається, що використати їх досвід доволі доцільно.

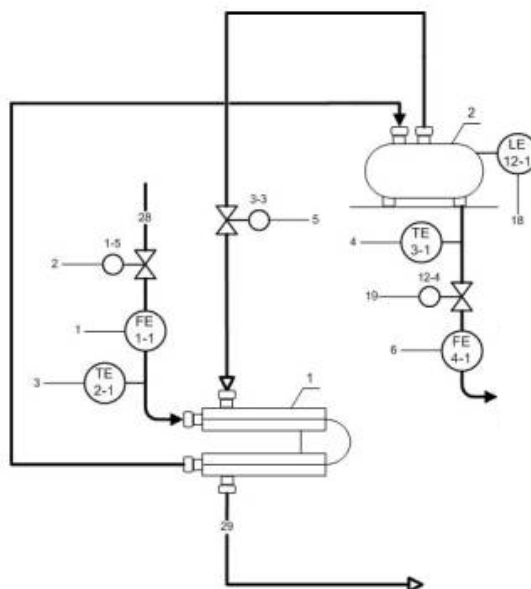


Рисунок 1.5 Фрагмент схеми автоматизації процесу полімеризації ізобутилену:

FE – датчики витрати етилену та його пари; LE – датчики рівня; TE – датчики температури

Цей варіант пропонує контролювати рівень та регулювати температуру витратою парів етилену, а також вихідний потік охолодженого етилену. Він є доволі непоганий, оскільки регулювання температури таким чином єдиним можливим варіантом. Але недолік в обмеженні виходу цільової продукції, тобто канал керування рівня заповнення є невдалим.

Також, варто відзначити схеми автоматизації схожих апаратів з інших процесів:

2) Варіант автоматизації випарника етилбензолу у виробництві стиролу, виконаний Козаневич З. Я. та Олійником С. В. [10].

Хоча цей апарат дуже схожий на той, що розглядається в даному проекті, він має суттєву відмінність. Випарник етилену слугує для охолодження рідкого етилену шляхом випаровування його частини. Випарник етилбензолу функціонує для випаровування цільової речовини за допомогою додатково введеної гарячої пари. Це дуже суттєва різниця.

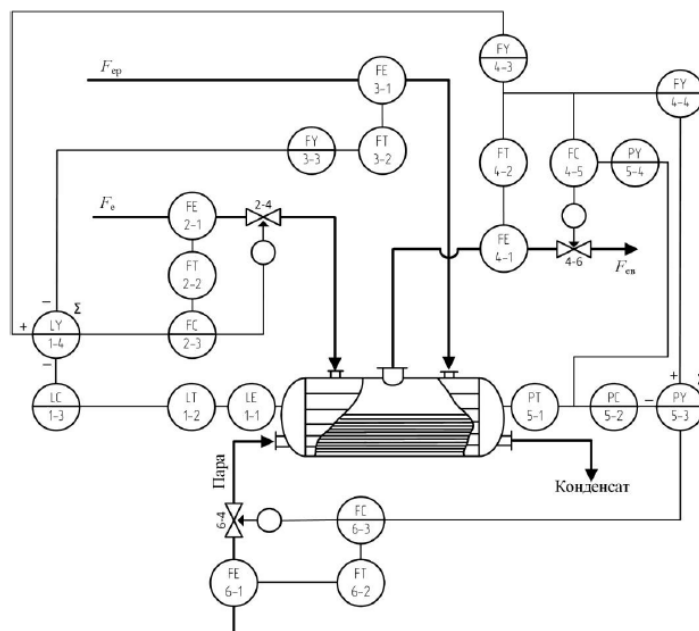


Рисунок 1.6 Схема автоматизації випарника етилбензолу:

FC – регулятори витрати етилбензолу та його пари; PC, LC – регулятори тиску та рівня;
FY – динамічні компенсатори; FT, LT, PT – нормувальні перетворювачі

Така схема передбачає контроль над значно більшою кількістю параметрів ніж попередній. Це пояснюється кількістю вхідних потоків цей апарат, використанням пари. В цьому апараті відбувається керування взаємопов'язаними параметрами: тиском та рівнем заповнення за допомогою регулювання співвідношень вхідних та вихідних витрат. Головна ідея полягає в підтриманні належних умов протікання реакції при яких процес піде в необхідному напрямку, на відміну від попереднього апарату, де конкретний потрібний параметр регулювався напругу. Така схема автоматизації конкретно до мого апарату здається недоцільною, оскільки він, порівняно з цим випарником, має невелику кількість вхід-виходів (3 шт.). Тому доцільніше регулювати конкретний параметр конкретним потоком. Хоча, варто сказати, що для наступного апарату такий варіант є цілком доцільний.

3) Варіант автоматизації випарної установки взятий з книги Шинського «Системы атоматического регулирования химической» [11].

Тут зображено двокорпусну випарну установку. Це головна різниця від попередніх. Якщо розглянути один апарат окремо, то конструктивно він буде схожий на випарник етилбензолу, але на відміну від нього рівень заповнення в цій схемі не регулюється.

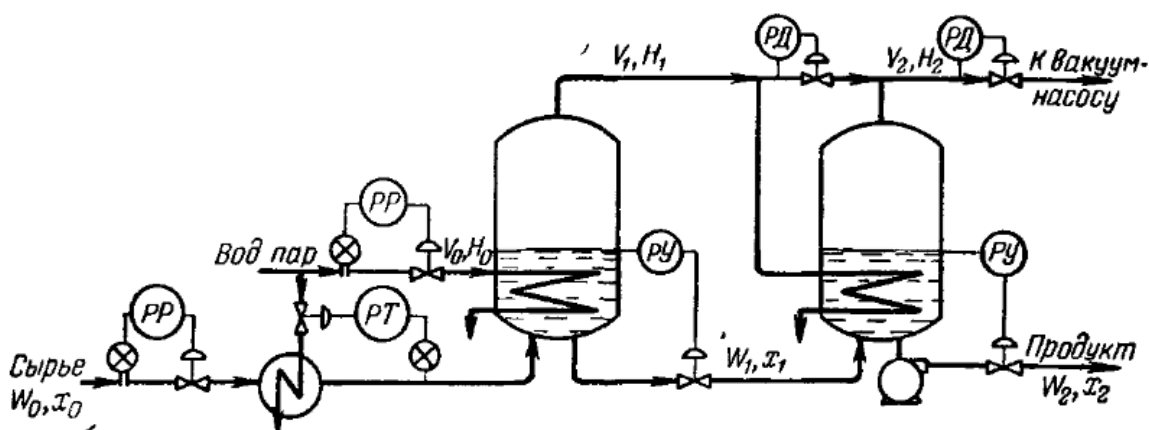


Рисунок 1.7 Схема автоматизації прямоточної двокорпусної випарної установки

Два апарати в складі випарної установки створюють додаткову складність протікання процесу, який проходить в кілька етапів. Метою функціонування даної випарної установки є одержання розчину певної концентрації. Тут існує три

контури регулювання: регулювання гріючої пари, подача розчину на вхід установки, регулювання вихідного потоку. Концентрацію регулюють вихідним потоком. Гріюча пара впливає на продуктивність процесу. Причому регулятори подачі пари та сировини взаємопов'язані, тому зміна одного призведе до прямо пропорційної зміни іншого. В схемі є цікавий варіант взаємозв'язку вхідних потоків, які впливають один на одного безпосередньо, без параметру апарата в якості посередника. Але цей варіант не підходить до мого апарату, оскільки тут пара та рідина знаходиться в двох ємностях та не змішується, на відміну від випарника етилену, де фактично знаходиться одна речовина та вхідні та вихідні потоки взаємопов'язані. Спроба вплинути на вхідну витрату через витрату пари не тільки вплине на продуктивність, а й на саму витрату пари. Це в свою чергу знов вплине на витрату етилену на вході і так далі, що результат передбачити буде неможливо.

1.6. Постановка задачі дослідження

Мета дипломного проекту – це створення системи автоматичного керування випарника та схеми автоматизації всього виробництва в цілому в процесі полімеризації ізобутилену на основі усіх зібраних даних.

Розробка системи автоматизації та схеми автоматизації процесу повинні забезпечити:

- підтримувати необхідні для полімеризації умови
- оптимально налаштувати керування апаратом
- зменшити непродуктивні витрати ресурсів на виробництві
- збільшити ефективність виробництва в цілому
- зменшити вплив людського фактору на виробництві
- одержувати продукцію що цілком задовольнить необхідні стандарти якості

2. СТОРЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ ІЗОБУТИЛЕНУ

2.1. Аналіз параметрів процесу полімеризації ізобутилену

Для визначення структури системи автоматизації виробництвом зупинимось на необхідних параметрах контролю та керування.

Теплообмінник (поз. 1). Перший апарат в схемі. Тут відбувається попереднє охолодження етилену, підготовка його до випаровування. Параметрами контролю є: температура та тиск на вході та вихідна витрата рідкого етилену. Необхідно регулювати температуру рідкого вихідного етилену за допомогою вхідної витрати етилену.

Випарник (поз. 2). Один з найважливіших об'єктів: тут охолоджують етилен до потрібної температури. Параметри керування: температура – за допомогою вхідної витрати газоподібного етилену, рівень заповнення – вхідною витратою рідкого етилену. Параметри контролю: витрата рідкого етилену на виході.

Дозатор (поз. 3). Дуже важливий апарат. В ньому відбувається охолодження ізобутилен-ретифікату до необхідної температури, а в трубах, що йдуть з нього змішуються потоки етилену з ізобутиленом та етилену з каталізатором заданому співвідношенні. Параметри керування: температура ізобутилену – вхідною витратою ізобутилену-ретифікату, співвідношення витрат мономера з розчинником – вихідною витратою охолодженого ізобутилену, рівень заповнення – вхідною витратою рідкого етилену. Параметри контролю: температура вхідного ізобутилену.

Ємність для каталізатора (поз. 4). Слугує для накопичення та зберігання фтористого бору з наступним його використанням в процесі. Оскільки він є газом, то його необхідно розчинити в рідкому етилені для подальшого використання в процесі. Регулюванню підлягає співвідношення витрат каталізатора з розчинником за допомогою вихідної витрати каталізатора. Параметр контролю: тиск всередині апарату.

Ємність для стабілізатора (поз. 5). Слугує для накопичення та зберігання речовини з наступним використанням її в процесі. Параметри керування: рівень

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						30
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

заповнення апарату за допомогою вхідної витрати. Параметри контролю: вихідна витрата.

Полімеризатор (поз. 6). Це металева стрічка замкнена в герметичному корпусі. Тут потрібно стабілізувати швидкість руху стрічки.

Скрубер (поз. 10). Апарат, що забезпечує майже повну безвідходність використання етилену в процесі полімеризації. За допомогою нього здійснюється очищення газової суміші й отримання чистого розчинника, який потім відправляють на ректифікацію після якої він знов повертається в процес. Тут потрібно керувати співвідношення вхідних витрат газової суміші та негашеного вапна. Параметр контролю: якість очищення газової суміші.

Інші апаратні складові (прес, стіл для охолодження) не мають параметри, які потребують вимірювання чи контролю, оскільки не відносяться до приладів хімічного виробництва.

2.2. Опис схеми автоматизації

Схема автоматизації виробництва мастил на мильних загусниках з контактором включає в себе ряд контурів контролю і регулювання.

Для контролю параметра температури рідкого вхідного етилену теплообмінника був створений контур, який складається з платинового термоперетворювача опору (1А), нормуючого перетворювача сигналів (1Б), автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу з пристроєм сигналізації (1В).

Для контролю параметра тиску на вході теплообмінника був створений контур, який складається з перетворювача тиску (2А) та автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу (2Б).

Для керування параметром температури рідкого вихідного етилену теплообмінника був створений контур, який складається з мідного термоперетворювача опору (3А), блоку нормуючого перетворення сигналів (3Б), мікропроцесорного контролер (3В), блоку ручного управління (3Г), електропневматичного перетворювача (3Д), виконавчого механізму (3Е).

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						31
Зм..	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

Для контролю параметра вихідної витрати рідкого етилену теплообмінника був створений контур, який складається з витратоміру Коріоліса (4А) та автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу (4Б).

Для керування параметром рівня заповнення випарника був створений контур, який складається з датчика рівня радіохвильового радарного рівнеміра (5А), блоку струмового виходу радарного рівнеміра (5Б), автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу з пристроєм сигналізації (5В), блоку керування (5Г), блоку ручного управління (5Д), електропневматичного перетворювача (5Е), виконавчого механізму (5Є).

Для керування параметром температури рідкого вихідного етилену випарника був створений контур, який складається з мідного термоперетворювача опору (6А), блоку нормуючого перетворення сигналів (6Б), мікропроцесорного контролер (3В), блоку ручного управління (6В), електропневматичного перетворювача (6Г), виконавчого механізму (6Д).

Для контролю параметра вихідної витрати рідкого етилену випарника був створений контур, який складається з витратоміру Коріоліса (7А) та технологічного мікропроцесорного індикатору (7Б).

Для контролю параметром температури рідкого вхідного ізобутилену дозатора був створений контур, який складається з платиного термоперетворювача опору (8А), нормуючого перетворювача сигналів (8Б), автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу з пристроєм сигналізації (8В).

Для керування параметром рівня заповнення дозатора був створений контур, який складається з радарного рівнеміра (9А), автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу з пристроєм сигналізації (9Б), блоку керування (9В), блоку ручного управління (9Г), електропневматичного перетворювача (9Д), виконавчого механізму (9Е).

Для керування параметром температури рідкого вихідного ізобутилену дозатора був створений контур, який складається з мідного термоперетворювача

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						32
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

опору (10А), блоку нормуючого перетворення сигналів (10Б), мікропроцесорного контролер (3В), блоку ручного управління (10В), електропневматичного перетворювача (10Г), виконавчого механізму (10Д).

Для контролю параметра співвідношення витрат мономера з розчинником температури на виході дозатора був створений контур, який складається з камерної діафрагми (11А), вимірювального тензоперетворювача перепаду тиску (11Б), технологічного мікропроцесорного індикатора (11В), камерної діафрагми (12А), вимірювального тензоперетворювача перепаду тиску (12Б), технологічного мікропроцесорного індикатора (12В), мікропроцесорного універсального ПД-регулятора (12Г), блоку ручного управління (12Д), електропневматичного перетворювача (12Е), виконавчого механізму (12Є).

Для контролю параметра співвідношення витрат каталізатора з розчинником температури на виході ємності для каталізатора був створений контур, який складається з камерної діафрагми (13А), вимірювального тензоперетворювача перепаду тиску (13Б), технологічного мікропроцесорного індикатора (13В), камерної діафрагми (14А), вимірювального тензоперетворювача перепаду тиску (14Б), технологічного мікропроцесорного індикатора (14В), мікропроцесорного універсального ПД-регулятора (14Г), блоку ручного управління (14Д), електропневматичного перетворювача (14Е), виконавчого механізму (14Є).

Для контролю параметра тиску всередині ємності для каталізатора був створений контур, який складається з перетворювача тиску (15А), автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу з пристроєм сигналізації (15Б).

Для керування параметром рівня заповнення ємності для стабілізатора був створений контур, який складається з буйкового рівнеміра з пневматичним передавальним перетворювачем (16А), автоматичного показувального і реєструвального мікропроцесорного вторинного приладу вхідні (16Б), блоку керування (16В), електропневматичного перетворювача (16Г), виконавчого механізму (16Д).

Для контролю параметра вихідної витрати стабілізатора був створений контур, який складається з діафрагми (17А), вимірювального тензоперетворювача перепаду тиску (17Б), автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу (17В).

Для керування параметром співвідношення вхідних витрат газової суміші та негашеного вапна скрубера був створений контур, який складається з камерної діафрагми (18А), вимірювального тензоперетворювача перепаду тиску (18Б), автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу (18В), сенсору витратоміра для вимірювання витрати сипких речовин (19А), модуля обробки витратоміра для вимірювання витрати сипких речовин (19Б), автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу (19В), мікропроцесорного універсального ПІД-регулятора (19Г), блоку ручного управління (19Д), електропневматичного перетворювача (19Е), виконавчого механізму (19Є).

Для контролю параметра якості очищення газової суміші на виході зі скрубера був створений контур, який складається з стаціонарного оптичного одноканального датчика-газоаналізатора (20А), автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу (20Б).

2.3. Опис схеми дистанційного керування двигунами з аварійним захистом і технологічним блокуванням

Принципова електрична схема дистанційного керування з аварійним захистом і технологічним блокуванням електромоторів наведена в Додатку Д1. Фрагмент схеми наведений на рис 2.1. На схемі показані схеми дистанційного керування електродвигунами з аварійним захистом та технологічним блокуванням для трьох електромоторів. Всі ланцюги керування побудовані за типовим варіантом. Розглянемо ці складові більш детально окремо.

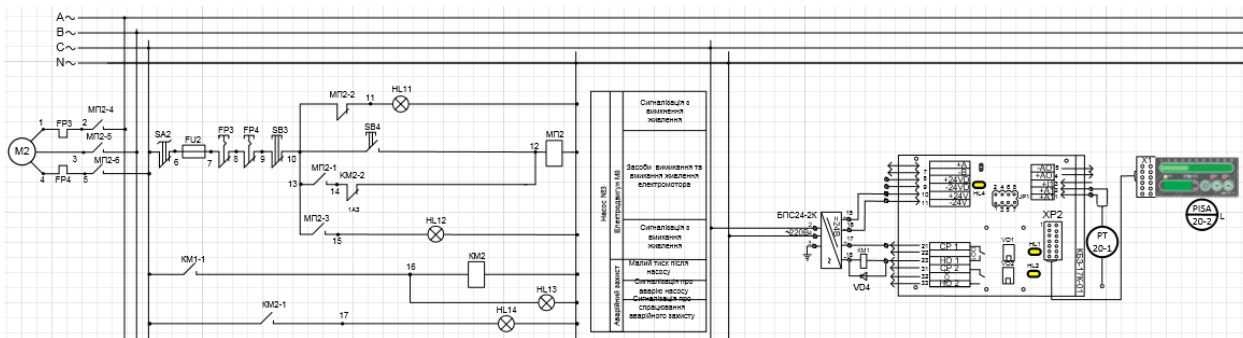


Рисунок 2.1 Фрагмент принципової електричної схеми дистанційного керування з аварійним захистом і технологічним блокуванням електродвигунів

2.3.1. Дистанційне керування двигунами

Для функціонування виробництва системи оснащена вісьмома насосами, за допомогою яких відбувається подача сировини. Працездатність цих приладів забезпечується аналогічною кількістю електродвигунів. На схемі автоматизації зображено їх контури. Найважливіші з них оснащені системами аварійного захисту та технологічних блокувань.

Оскільки структура контурів електродвигунів однакова, розглянемо її на прикладі першого двигуна М2. Його дистанційний запуск здійснюється за рахунок магнітних пускатрів МП2. Керування ними забезпечується кнопками SB3 – для увімкнення та SB4 – для вимкнення. Сигнальні лампи HL11 (зелена) та HL12 (червона) слугують для індикації стану електродвигуна: увімкнений чи, навпаки, вимкнений. Структура інших двигунів на схемі однакова, змінюється лише порядковий номер елементів.

2.3.2. Блокування, сигналізація, захист

У процесі виробництва можуть виникнути збої в подачі сировини чи інші різноманітні помилки, що можуть викликати пошкодження обладнання. Це дуже негативно впливає на якість та продуктивність виробництва. Щоб запобігти це і забезпечити подальше функціонування технологічного обладнання використовують системи технологічних блокувань та аварійного захисту, які зупиняють процес в разі виникнення необхідності.

Технологічні блокування викликаються внаслідок поломок обладнання, а аварійний захист, в свою чергу, запобігає поломці обладнання внаслідок збоїв у роботі системи. Обидва способи зупиняють процес виробництва, різняться лише причина.

Технологічні блокування працюють за принципом: зламалося обладнання – зупиняємо процес, а аварійний захист, в свою чергу, запобігає поломці обладнання внаслідок збоїв у роботі системи.

Блокування функціонує за рахунок вимірювачів тиску (поз. 21А), що встановлені після насосу. При занадто низькому значенню тиску в трубі спрацьовують технологічні блокування, оскільки це може свідчити про збій в роботі насоса, пробій трубопроводу чи іншу поломку технічного обладнання. Подальше функціонування насосів за таких умов спричинить ще більші проблеми, не кажучи же про безпеку виробництва. Тому технологічні блокування зупиняють функціонування електродвигунів, які відповідають за роботу насосів, та контурів керування, які регулюють витрату сировини, що подається насосами. На схемі блокування позначенні «ТБ». Враховуючи технологію виробництва, яка вимагає чіткого дозування компонентів реакційної суміші, зупинка функціонування одного з насосів автоматично впливає і на інші, які подають пов'язані із потрібним співвідношенням компоненти.

Сигналізація необхідна для попередження робочого персоналу в тому, що значення технічних параметрів, від яких залежить якість випускаємої продукції, відхилилася від регламентованих. Це може бути викликано поломками в техніці чи іншими негативними факторами.

В схемі існують такі види сигналізації:

1) сигналізація верхніх та нижніх границь витрати сировини з трубопровода (HL1, HL2 та ін), що розташована на деяких контурах контролю та регулювання. Сигналізація спрацьовує при досягненні максимального чи мінімального значення контрольованого параметру.

2) сигналізація роботи електродвигунів, кожний з яких має по дві кольорові лампочки: зелену та червону, кожна з яких повідомляє про функціонування чи зупинку двигуна відповідно.

3) сигналізація на контурах вимірювачів тиску встановлених після насосу, які відповідають за аварійний захист та технічне блокування. Вона має в своєму складі дві лампочки (HL13, HL14), перша з яких сигналізує про аварію насосу, а друга – про спрацювання аварійного захисту.

Функціонування відцентрових насосів може бути зупинене за рахунок передбачуваних негативних факторів (потрапляння твердих частинок всередину). Це в свою чергу може викликати пошкодження як самого насосу так і електродвигуна. Тому у разі подібної аварійної ситуації передбачений подвійний захист: механічний та електричний, що зупиняють їх функціонування на певний час потрібний для ремонту обладнання. Разом вони називаються аварійним захистом, який, як і технічне блокування, спрацьовує, коли тиск після насосу падає.

Аварійний захист передбачає відключення шести моторів M1, M2, M3, M4, M5, M6, вони вимикаються в результаті спрацювання реле зазначених на схемі. Розглянемо електричний захист на прикладі мотора M2. Він передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна при виході насоса з ладу за рахунок впливу на магнітний пускач двигуна.

Коли виникає аварійна зупинка відцентрового насоса відбувається замикання нормально розімкненого контакту KM1-1 в приладі. Внаслідок цього утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту KM2 і вмикається червона сигнальна лампочка HL13, яка інформує про аварію на насосі. Реле KM2 спрацьовує, його контакти перемикаються. Так контакт KM2-1 замикається, а контакт аварійного реле KM2-2, навпаки, розмикається. KM2-1 вмикає червону сигнальну лампочку HL14, яка показує, що аварійне реле захисту спрацювало. KM2-2 розриває ланцюг живлення електромагніту магнітного пускача МП2. За рахунок цього живлення електродвигуна M2 при аварії вимикається.

Після процедури очистки та ремонту відцентрового насоса треба відновити живлення електродвигуна М2. Це виконується за допомогою кнопки SB4. Оскільки робочий тиск миттєво насос не набирає, то кнопку SB4 потрібно утримувати натиснутою до тих пір, поки не погаснуть червоні сигнальні лампочки HL13 і HL14. Коли лампочки погаснуть, кнопку SB4 треба відпустити. Ланцюг живлення електромагніту магнітного пускача МП2 знову пройде через контакт МП2-1 і КМ2-2.

Аналогічно працюють інші ланцюги блокувань електродвигунів насосів. Коли виникає аварія у відцентрованому насосі і формується сигнал аварійного захисту електродвигуна за допомогою аварійного сигналу, в цьому випадку повинна спрацювати система технологічних блокувань, яка повинна відключити вихідний сигнал регулятора, тобто регулюючі клапани повинні повністю закрити трубопроводи.

2.4 Розрахунок точності вимірювального каналу №1

Метою цього розділу є розрахунок для розробленого контура автоматичного контролю з довірчою імовірністю в 0,95 таких метрологічних характеристик:

- а) середньо-квадратичні абсолютні похибки структурних елементів вимірювального каналу;
- б) середньо-квадратичну абсолютну похибку вимірювального каналу в цілому;
- в) допустиму абсолютну похибку досліджуваного вимірювального каналу;
- г) Допустиму зведену похибку досліджуваного вимірювального каналу.

Окрім вище названих пунктів необхідно знайти клас точності вимірювального каналу та інтервал в якому буде знаходитись значення вимірюваного режимного параметра.

Схема системи автоматичного контролю температури рідкого етилену має вигляд:

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						38
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

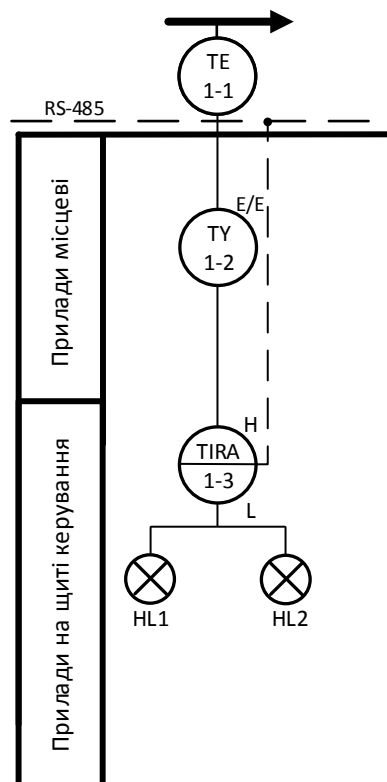


Рисунок 2.2 Схема системи автоматичного контролю температури рідкого етилену: 1-1 – термоперетворювач опору; 1-2 – нормувальний перетворювач; 1-3 – автоматичний показувальний вторинний прилад з вмонтованою сигналізацією.

Структурну схему вимірювального каналу розробленого контуру автоматичного контролю температури рідкого етилену представимо у вигляді:



Рисунок 2.3 Структурно-логічна схема вимірювального контуру контролю температури рідкого етилену

Використані позначення: ТО – термоперетворювач опору; ЛЗ – лінії зв’язку; НП – нормувальний перетворювач ; ВП – вторинний прилад.

Маючи технічний регламент структурних елементів схеми: ТО платиновий ТСП-1288 з діапазоном $-50 \dots 60$ °C та класом допуску *B*, лінії зв’язку (ЛЗ) класу точності 0,4, нормувальний перетворювач Ш79 класу точності 0,25, автоматичний показувальний і реєструвальний мікропроцесорний вторинний прилад з пристроєм сигналізації ДИСК-250М класу точності 0,5 – необхідно спочатку розрахувати сумарну похибку вимірювального каналу температури рідкого етилену..

граничнодопустиме відхилення для ТОП з класом допуску B визначається з виразу: $\pm(0,3 + 0,005 |t|)$. Маючи діапазон вмірювання (від мінус 50 до 60 °C) розраховуємо гранично допустиму абсолютну похибку термоперетворювача опору: $\Delta t_{\text{доп}} = \pm (0,3 + 0,005 \times |-40|) = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Розв'язання задачі виконується з довірчою ймовірністю $P_d = 0,95$. Тому для кожного окремого елемента контуру середньоквадратична похибка в абсолютних значеннях визначається з виразу $\Delta_{0,95} = K_{n_{0,95}} \sigma$. Використаємо цю формулу в подальших розрахунках.

Для платиного термоперетворювача опору ТСП-1288 отримаємо:

$$\sigma_{\text{ТО}} = \frac{\Delta_{\text{допТО}}}{K_{n_{0,95}}} = \frac{0,5}{1,96} = 0,255 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Визначимо граничнодопустимі абсолютну та середньоквадратичну похибки для ліній зв'язку:

$$\Delta_{\text{допЛЗ}} = \frac{K_{\text{ТЛЗ}} \cdot ДВ}{100} = \frac{0,4 \cdot |-40|}{100} = 0,16 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\sigma_{\text{ЛЗ}} = \frac{\Delta_{\text{допЛЗ}}}{K_{n_{0,95}}} = \frac{0,16}{1,96} = 0,082 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Визначимо аналогічні величини для нормувального перетворювача Ш79 класу точності 0,25:

$$\Delta_{\text{допНП}} = \frac{K_{\text{ТНП}} \cdot ДВ}{100} = \frac{0,25 \cdot |-40|}{100} = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\sigma_{\text{НП}} = \frac{\Delta_{\text{допНП}}}{K_{n_{0,95}}} = \frac{0,1}{1,96} = 0,051 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Проведемо такі самі розрахунки для автоматичного показувального і реєструвального мікропроцесорного вторинного приладу з пристроєм сигналізації ДИСК-250М класу точності 0,5:

$$\Delta t_{\text{допВП}} = \frac{K_{\text{ТВП}} \cdot ДВ}{100} = \frac{0,5 \cdot |-40|}{100} = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\sigma_{\text{ВП}} = \frac{\Delta_{\text{допВП}}}{K_{n_{0,95}}} = \frac{0,2}{1,96} = 0,102 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Розрахуємо середньоквадратичну абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\sigma_{\text{БК}} = \sqrt{\sigma_{\text{ТО}}^2 + \sigma_{\text{ЛЗ}}^2 + \sigma_{\text{НП}}^2 + \sigma_{\text{ВП}}^2} = \sqrt{0,255^2 + 0,082^2 + 0,051^2 + 0,102^2} = 0,291 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Розрахуємо граничнодопустиму абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\Delta_{\text{допБК}} = \pm K_{n_{0,95}} \cdot \sigma_{\text{БК}} = \pm 1,96 \cdot 0,291 = \pm 0,57 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

та граничнодопустиму зведену похибку вимірювального каналу:

$$\gamma_{\text{допБК}} = \pm \frac{\Delta_{\text{допБК}}}{\text{ДВ}} * 100\% = \pm \frac{0,57}{|-40|} * 100\% = \pm 1,426\%$$

Висновок: таким чином, аналізований вимірювальний канал температури відповідає класу точності 1,5, а дійсне значення вимірюваної температури θ знаходиться в діапазоні значень $-40 \pm 0,57 \text{ }^{\circ}\text{C}$ з імовірністю $P_d = 0,95$. Це цілком нас влаштовує, отже така конфігурація елементів вимірюваного каналу задовольняє необхідні умови і її можна залишити.

2.5 Розрахунок надійності вимірювального каналу №1

Метою цього розділу є оцінка імовірності безвідмовної роботи контуру контролю запропонованого попередньому розділі, приблизна оцінка часу за який він вийде з ладу та знаходження періоду функціонування схеми з імовірністю безвідмовної роботи в 90%. Досліджуваний канал контролю зображено на рис. 2.2, а його структурну схему – на рис. 2.3. В табл. 2.1 наведено необхідні характеристики окремих елементів системи для розрахунку надійності.

Таблиця 2.1 Значення інтенсивності відмов елементів схеми:

Назва елемента	Поз. на схемі автоматизації	Тип моделі	Поз. на логічній схемі надійності	Середній час безвідмовної роботи m , год	Виробник
Термоперетворювач опору	1-1	ТСП-1288	ТО	15000	НВО «Електротермія», Приладобудівний з-д, м. Луцьк
Лінії зв'язку		Кабель	ЛЗ	80410	-
Нормувальний перетворювач	1-2	Ш79	НП	50000	ПО «Мікроприбор», м. Львів
Вторинний прилад	1-3	ДИСК-250М	ВП	25000	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ

Використавши технічний регламент пристроїв та формули теорії Надійності систем (1) та (2) за допомогою середовища Mathcad знаходимо імовірність безвідмовної роботи систем рис. 9.

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T}}, \quad (8.1)$$

$$P_N(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t), \quad (8.2)$$

де T – час наробітку на відмову; $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи окремого елемента.

На рис. 2.4 наведено документ Mathcad, де проводиться розрахунок за наведеними вище формулами (1) та (2):

$$\begin{aligned}
 m_1 &:= 15000 & m_3 &:= 50000 \\
 m_2 &:= 80410 & m_4 &:= 25000 \\
 \lambda_{1_1} &:= \frac{1}{m_1} & \lambda_{1_2} &:= \frac{1}{m_2} & \lambda_{1_3} &:= \frac{1}{m_3} & \lambda_{1_4} &:= \frac{1}{m_4} \\
 P_c(t) &:= \prod_{i=1}^4 e^{-\lambda_{1_i} t}
 \end{aligned}$$

Рисунок 2.4 Розрахунок імовірності безвідмовної роботи лінії контролю:

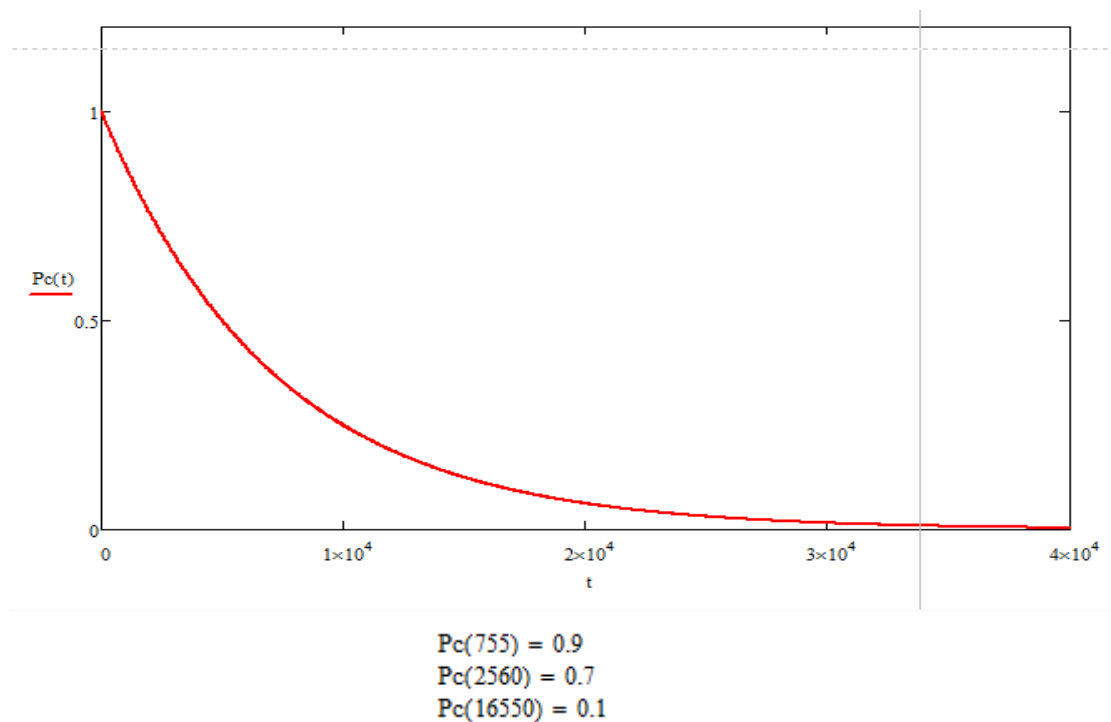


Рисунок 2.5 Графік імовірностей безвідмовної роботи лінії контролю:

Висновок: час безвідмовної роботи з імовірністю в 90% становить близько 755 годин (31,5 діб), в 70% – 2560 годин (106,7 діб), в 10% – 16550 годин (689,6 діб). Чим менша імовірність тим більше їй відповідає час роботи. На основі цих розрахунків можна зробити графік планових робіт, коли імовірність відмови буде перевищувати задану.

3. Математичне моделювання процесу випаровування

Для аналізу та моделювання процесу випаровування була створена структурно-параметрична схема технологічного об'єкта (рис. 3.1). На ній вказані канали впливу технологічних змінних на перебіг процесу.

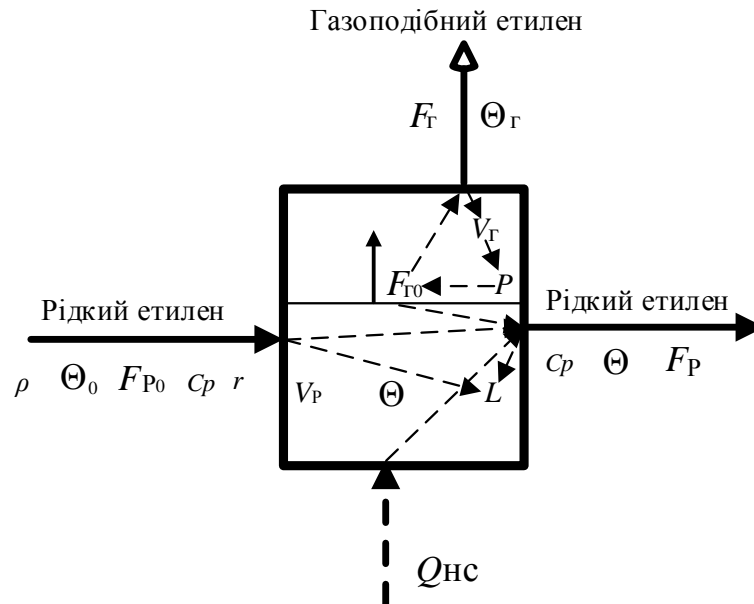


Рис. 3.1. Структурно-параметрична схема:

F_P, F_{P0} – витрата рідкого етилену на виході та вході в апарат; F_G, F_{G0} – витрата газоподібного етилену на виході та в апараті; Θ – температура рідкого етилену в апараті; Θ_0 – температура рідкого етилену на вході в апарат; V_G – об'єм газоподібного етилену в апараті; V_P – об'єм рідкого етилену в апараті; c_p – теплоємність етилену; r – питома теплота пароутворення етилену; ρ – густина етилену; L – рівень суміші в апараті; P – тиск в апараті; $Q_{НС}$ – тепловий потік від навколишнього середовища

Не зважаючи на те, що процес проходить в одній ємності, це доволі складний процес через взаємозв'язок його параметрів (див. п. 1.5). Однак, незважаючи на це, найважливішою технологічною змінною процесу є температура рідкого етилену на виході з апарата, оскільки вона є визначальною для процесу полімеризації поліізобутилену. З аналізу видно, що температуру можна регулювати витратою випареного етилену. Зміна витрати газу призводить до зміни його об'єму в апараті, а отже і тиску в апараті, що в свою чергу впливає на швидкість випаровування етилену. За рахунок випаровування надлишків рідкого етилену, його температура знижується.

Інший важливий фактор – рівень заповнення апарата рідким етиленом. На нього можна впливати зміною вхідної чи вихідної витрати. Але, оскільки спроба

впливу на вихідний потік буде негативно впливати на продуктивність апарату, то обираємо вхідну витрату. Саме тому, що основними параметрами є температура та рівень для автоматизації випарника було створено два контури керування, які за ці параметри відповідають (див. п. 2.1)

Канали керування основними параметрами об'єкта зображені на рис.3.2

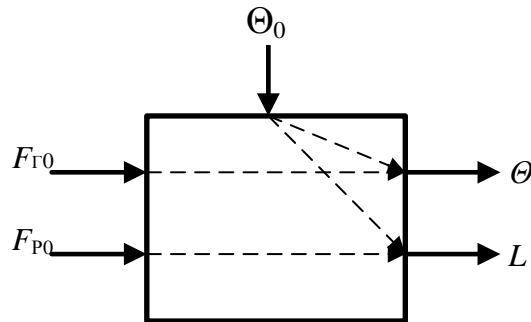


Рисунок 3.2. Структурно-параметрична схема досліджуваних каналів регулювання випарника для етилену

Аналізуючи схему рис. 3.1 та опис процесу, маємо такі висновки:

Визначальною змінною (регульованою величиною) такого ТОК є температура рідкого етилену на виході.

Керувальною дією є витрата газу на виході.

Збуренням будемо розглядати: температуру рідкого етилену на вході

При моделюванні процесу випаровування були зроблені такі припущення:

1. випарник – об'єкт із зосередженими параметрами;
2. при врахуванні втрат тепла в навколишнє середовище приймаємо сталою температуру цього середовища Θ_{HC} ;
3. теплофізичні параметри етилену – сталі величини;
4. $F_{\Gamma 0} = F_{\Gamma}$, оскільки у вказаних точках відбору це витрата одного і того самого матеріального потоку.

В основу математичного моделювання процесів, які відбуваються у випарнику, покладемо систему теплового та матеріального балансів:

1. Статичний режим:

2) Тепловий баланс для випарника:

$$F_{P0} c_p \Theta_0 + K S_a (\Theta_{HC} - \Theta) - F_{\Gamma 0} r - F_P c_p \Theta = 0 \quad (3.1),$$

де $F_{p0} c_p \Theta_0$ – тепловий потік з боку вхідного рідкого етилену; $F_p c_p \Theta$ – тепловий потік з боку вихідного рідкого етилену; $F_{r0} r$ – тепловий потік випареного етилену; $K S_a (\Theta_{nc} - \Theta)$ – тепло отримане внаслідок теплообміну з навколишнім середовищем.

1) Матеріальний баланс для випарника:

$$F_{p0} - F_p - F_{r0} = 0, \quad (3.2)$$

2. Динамічний режим:

2) Тепловий баланс для випарника:

$$F_{p0} c_p \Theta_0 + K S_a (\Theta_{nc} - \Theta) - F_{r0} r - F_p c_p \Theta = \rho c_p V_p \frac{d\Theta}{dt} \quad (3.3)$$

1) Матеріальний баланс для випарника:

$$F_{p0} - F_p - F_{r0} = \rho \frac{dV_p}{dt} = S \rho \frac{dL}{dt}, \quad (3.4)$$

У табл. 3.1 наведено значення параметрів моделі в статичному режимі:

Таблиця 3.1. Значення параметрів випарника етилену в режимі статики

№ п/п	Назва параметру	Позначення (ідентифікатор)	Одиниця вимірювання	Значення
1	2	3	4	5
1	Об'єм рідини в апараті	V_p	м^3	0,5
3	Густина етилену	ρ	$\text{кг}/\text{м}^3$	567,4
4	Рівень суміші в апараті	L	м	0,4
5	Добуток коефіцієнта теплопередачі на поверхню теплопередачі	$K \cdot S_a$	$\text{Дж}/(\text{с} \cdot ^\circ\text{C})$	0,366
6	Температура навколишнього середовища	Θ_{nc}	$^\circ\text{C}$	16
7	Температура рідкого етилену на вході	Θ_0	$^\circ\text{C}$	-95
8	Температура рідкого етилену на виході	Θ	$^\circ\text{C}$	-104

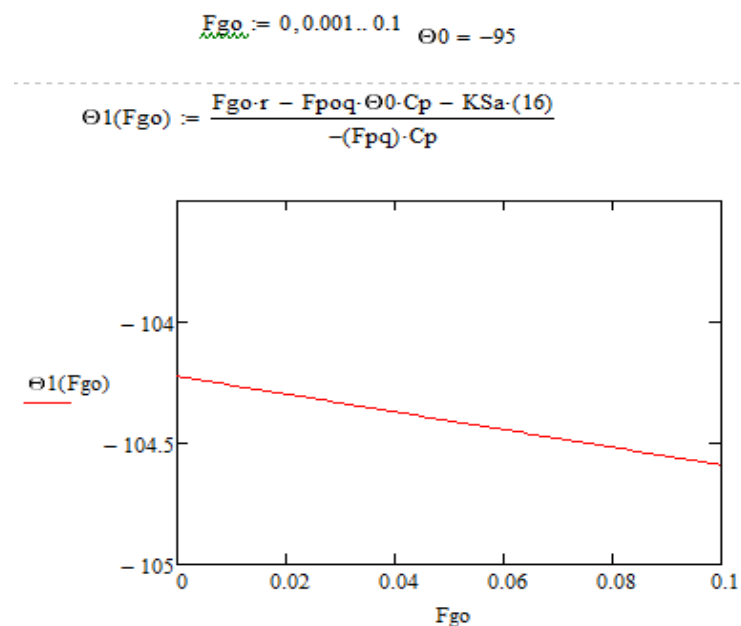
Продовження Табл. 3.1

1	2	3	4	5
9	Витрата випареного етилену	$F_{Г0}$	кг/с	0,008
10	Питома теплота пароутворення етилену	r	Дж/кг	485
11	Площа поверхні рідини	S	м ²	1,25
12	Витрата рідкого етилену на виході з апарату	F_P	кг/с	0,082
13	Витрата рідкого етилену на вході в апарат	F_{P0}	кг/с	0,09
14	Теплоємність етилену	C_p	кДж /(кг °С)	1,617

У даній роботі досліджуємо лише один канал керування, а саме «Витрата газоподібного етилену – температура рідкого етилену на виході». Альтернативні Канали керування або збурення не розглядаються.

Для цього необхідно побудувати статичну та динамічну характеристики, виведені зі статички та динаміки процесу відповідно.

На рис. 3.4 можна побачити документ *Mathcad* із статичною характеристикою та її розрахунок:

Рисунок 3.4. Документ *Mathcad* із розрахунком статичної характеристики

Дивлячись на рис. 3.4 можна зрозуміти, що залежність між визначальною змінною та керувальною дією – лінійна.

Динамічну характеристику наведемо у вигляді передавальної функції. Для її створення потрібно провести лінеаризацію рівнянь матеріальних та теплових балансів. Змінні, які підлягають лінеаризації: $F_{p0}(t)$, $F_p(t)$, $F_{r0}(t)$, $\Theta(t)$, $L(t)$, $\Theta_0(t)$.

Лінеаризація рівняння балансів (динаміки) в точці статичного режиму:

$$L(t) = L^0 + \Delta L(t)$$

$$\Theta(t) = \Theta^0 + \Delta \Theta(t)$$

$$\Theta_0(t) = \Theta_0^0 + \Delta \Theta_0(t)$$

$$F_p(t) = F_p^0 + \Delta F_p(t)$$

$$F_{r0}(t) = F_{r0}^0 + \Delta F_{r0}(t)$$

$$F_{p0}(t) = F_{p0}^0 + \Delta F_{p0}(t),$$

Наведемо лінеаризовані рівняння:

- рівняння матеріального балансу:

$$\Delta F_{p0} - \Delta F_p - \Delta F_{r0} = \rho \frac{(d\Delta V_p)}{dt} \quad (3.5)$$

- рівняння теплового балансу для випарника:

$$\begin{aligned} \Delta F_{p0} c_p \Theta_0^0 + \Delta \Theta_0 F_{p0} c_p + K S_a (-\Delta \Theta) - \Delta F_{r0} r - \Delta F_p c_p \Theta^0 - \\ - F_p^0 c_p \Delta \Theta = \rho c_p \frac{(d\Delta \Theta \Delta V_p)}{dt} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Враховуючи залежність $V_p = SL$, рівняння (3.5), (3.6) набудуть наступного вигляду:

- рівняння матеріального балансу:

$$\Delta F_{p0} - \Delta F_p - \Delta F_{r0} = S \rho \frac{(d\Delta L)}{dt} \quad (3.7)$$

- рівняння теплового балансу для випарника:

$$\Delta F_{p0} c_p \Theta_0^0 + \Delta \Theta_0 F_{p0} c_p + K S_a (-\Delta \Theta) - \Delta F_{r0} r - \Delta F_p c_p \Theta^0 -$$

$$-F_p^0 c_p \Delta\Theta = L^0 S \rho c_p \frac{(d\Delta\Theta)}{dt} + \Theta^0 S \rho c_p \frac{(d\Delta L)}{dt} \quad (3.8)$$

Для зручності отримання передавальних функцій переведемо лінеаризовані рівняння в канонічну форму.

Рівняння у канонічному виді мають вид:

- рівняння матеріального балансу:

$$S \rho \frac{(d\Delta L)}{dt} = \Delta F_{p0} - \Delta F_p - \Delta F_{r0} \quad (3.9)$$

- рівняння теплового балансу для випарника:

$$\begin{aligned} \Delta\Theta + \frac{L^0 S \rho c_p}{K S_a + F_p^0 c_p} \frac{(d\Delta\Theta)}{dt} + \frac{\Theta^0 S \rho c_p}{K S_a + F_p^0 c_p} \frac{(d\Delta L)}{dt} = \Delta F_{p0} \frac{c_p \Theta_0^0}{K S_a + F_p^0 c_p} + \\ + \Delta\Theta_0 \frac{F_{p0} c_p}{F_p c_p + K S_a} - \Delta F_{r0} \frac{r}{K S_a + F_p^0 c_p} - \Delta F_p \frac{c_p \Theta^0}{K S_a + F_p^0 c_p} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Тепер можна звести константи та отримати коефіцієнти для передавальної функції за каналом «Витрата газоподібного етилену → Температура рідкого етилену на виході»:

$T_2 = S\rho$ – стала часу випарника з рівняння матеріального балансу;

$T_1 = (\rho c_p S L) / (F_p c_p + K S_a)$ – стала часу температури з рівняння теплового балансу;

$T_{11} = (\rho c_p S \Theta) / (F_p c_p + K S_a)$ – стала часу рівня заповнення з рівняння теплового балансу;

$K_{fro} = r / (F_p c_p + K S_a)$ – коефіцієнт підсилення каналу: «Витрата газоподібного етилену → Температура рідкого етилену на виході»;

Коефіцієнти альтернативних каналів керування чи збурень, які в дослідженні не розглядаються:

$K_{\Theta 0} = F_{p0} c_p / (F_p c_p + K S_a)$ – коефіцієнт підсилення каналу: «Температура рідкого етилену на вході → Температура рідкого етилену на виході»;

$K_{Fp0} = c_p \Theta_0 / (F_p c_p + K S_a)$ – коефіцієнт підсилення каналу: «Витрата рідкого етилену на вході → Температура рідкого етилену на виході»;

$K_{Fp} = c_p \Theta / (F_p c_p + K S_a)$ – коефіцієнт підсилення каналу: «Витрата рідкого етилену на виході → Температура рідкого етилену на виході».

Вище наведені перетворення дозволяють прийти до таких рівнянь:

- рівняння теплового балансу випарника:

$$\Delta\Theta + T_1 \frac{d\Delta\Theta}{dt} + T_{11} \frac{d\Delta L}{dt} = K_{Fpo} \Delta F_{p0} + K_{\Theta_0} \Delta\Theta_0 - K_{Fro} \Delta F_{r0} - K_{Fp} \Delta F_p \quad (3.11)$$

- рівняння матеріального балансу:

$$T_2 \frac{d\Delta L}{dt} = \Delta F_{p0} - \Delta F_p - \Delta F_{r0} \quad (3.12)$$

У рівняннях (3.11) та (3.12) виконаємо перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow s$: $\Delta F_{p0}(t) \rightarrow \Delta F_{p0}(s)$, $\Delta F_p(t) \rightarrow \Delta F_p(s)$, $\Delta F_{r0}(t) \rightarrow \Delta F_{r0}(s)$, $\Delta\Theta(t) \rightarrow \Delta\Theta(s)$, $\Delta L(t) \rightarrow \Delta L(s)$.

Тоді (3.11) та (3.12) набудуть вигляду:

$$(T_1 \cdot s + 1) \Delta\Theta(s) + T_{11} \cdot s \cdot \Delta L(s) = K_{Fpo} \Delta F_{p0}(s) + K_{\Theta_0} \Delta\Theta_0 - K_{Fro} \Delta F_{r0}(s) - K_{Fp} \Delta F_p(s) \quad (3.13)$$

$$T_2 \cdot s \cdot \Delta L(s) = \Delta F_{p0}(s) - \Delta F_p(s) - \Delta F_{r0}(s) \quad (3.14)$$

З рівнянь (3.13) та (3.14) можна отримати бажану передавальну функцію за каналом керування: «Витрата газу на виході → Температура рідкого етилену на виході». Отже, для отримання потрібної передавальної функції скористаємося матрицями коефіцієнтів рівнянь.

$$\Delta = \begin{bmatrix} T_1 \cdot s + 1 & T_{11} \cdot s \\ 0 & T_2 \cdot s \end{bmatrix} \quad F_{r0} = \begin{bmatrix} -K_{Fro} \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\Delta K = \begin{bmatrix} -K_{Fro} & T_{11} \cdot s \\ -1 & T_2 \cdot s \end{bmatrix}$$

$$W_{F_{r0}\Theta}(s) = \frac{\Delta K}{\Delta}$$

Результатом їх опрацювання стала наступна передавальна функція каналу керування: «Витрати газу на виході → Температура рідкого етилену на виході»:

$$W_{F_{r0}\Theta}(s) = \frac{-K_{Fro} \cdot T_2 + T_{11}}{(T_1 \cdot s + 1)(T_2)} \quad (3.15)$$

Для визначення коефіцієнтів передавальної функції використано значення параметрів в статичному режимі, які були наведені в таблиці 3.1.

На рис. 3.3 зображено проведені розрахунки виконані в програмному середовищі *Mathcad*:

$$\begin{aligned} T_{iq} &:= \frac{L \cdot S \cdot \rho \cdot C_p}{K_{Sa} + F_{pq} \cdot C_p} = 276.681 & T_{iiq} &:= \frac{\Theta \cdot S \cdot \rho \cdot C_p}{K_{Sa} + F_{pq} \cdot C_p} = -7.194 \times 10^4 \\ K_{fgoq} &:= \frac{r}{K_{Sa} + F_{pq} \cdot C_p} = 0.366 & T_2 &:= S \cdot \rho = 567.4 \\ W_{fgoq}(s) &:= \frac{-K_{fgoq} \cdot (T_2) + T_{iiq}}{(T_{iq} \cdot s + 1)(T_2)} \rightarrow -\frac{72144.570180094340802}{156988.891243772698 \cdot s + 567.4} \end{aligned}$$

Рисунок 3.3. Документ *Mathcad* з визначенням передавальної функції за каналом «Витрата газоподібного етилену → Температура рідкого етилену на виході»

Оскільки ми розглядаємо процес охолодження, то коефіцієнти від'ємні і перехідна характеристика виходить на усталене значення нижче нуля.

Приводимо отриману передавальну функцію до стандартного вигляду:

$$W_{F_{r0}\Theta}(s) = \frac{-127.1494}{276.6812 \cdot s + 1} \quad (3.16)$$

Перехідна характеристика за каналом «Витрати газу на виході → Температура рідкого етилену на виході» має вигляд :

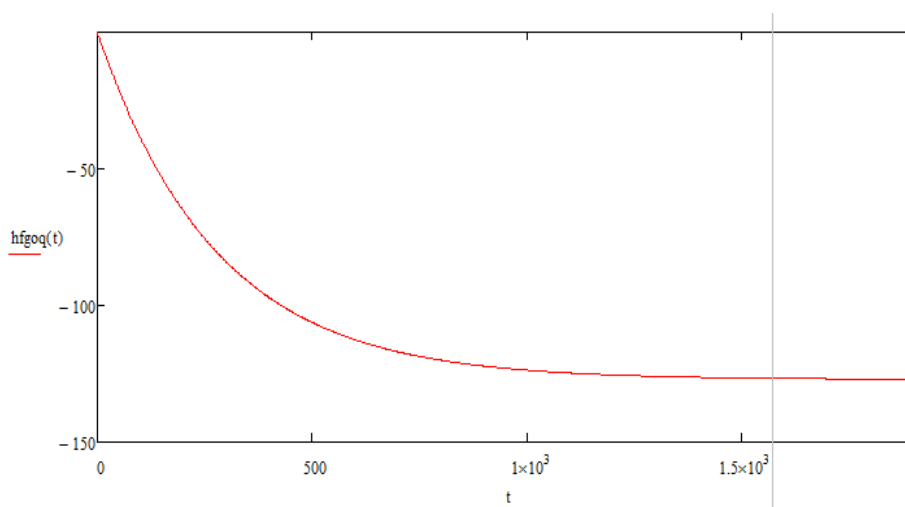


Рисунок. 3.5. Перехідна характеристика об'єкта за каналом «Витрата газоподібного етилену → Температура рідкого етилену на виході»

Як можна побачити з перехідної характеристики об'єкт здатний самостійно вийти на усталений рівень. Але це вимагає значної кількості часу, близько 1628 секунд, що дорівнює 27,5 хвилин. Отже, такий об'єкт потребує регулятора, який зможе не тільки підтримувати режим роботи на потрібному нам рівні, а й зможе вийти на нього швидше ніж без нього.

Передавальна функція (3.16) відповідає об'єкту керування, але використовувати її для налаштування недоцільно. В реальності існує так зване транспортне запізнення, тому перехідна характеристика об'єкту буде виглядати трохи інакше. На нього впливає, по-перше, відстань між датчиком та регулювальним клапаном, швидкість керувального впливу. Потік етилену надходить в апарат доволі швидко, прилади розташовані по різні боки апарату. На основі цього можна припустити, що запізнення не може бути дуже великим.

Передатна функція з урахуванням транспортного запізнення

$$W_{F_{T0}\Theta}(s) = \frac{-127.1494}{276.6812 \cdot s + 1} e^{-45 \cdot s} \quad (3.17)$$

Перехідна характеристика за каналом «Витрати газу на виході – температура рідкого етилену на виході» з урахуванням транспортного запізнення має вигляд:

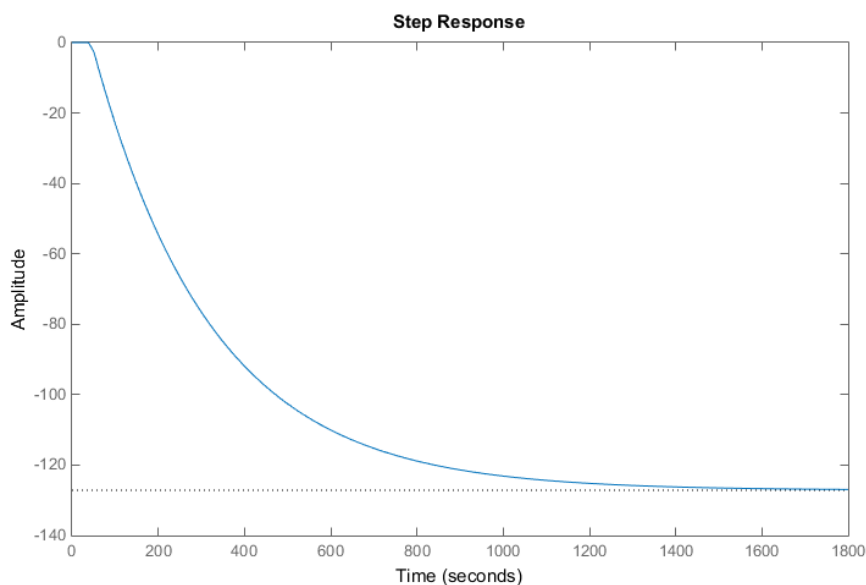


Рис. 3.6 Перехідна характеристика об'єкта за каналом «Витрата газоподібного етилену → Температура рідкого етилену на виході» з урахуванням транспортного запізнення

Висновки. У цьому розділі було проведено аналіз випарника як об'єкта моделювання; визначені канали об'єкта, які підлягають моделюванню; на основі балансів маси та тепла у випарнику отримано статичні та динамічні моделі досліджуваних каналів. Розрахунки виконані засобами математичного процесора *Mathcad*.

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53

4. Синтез системи керування температури

4.1. Налаштування регулятора

Обраний контур об'єкту керування зображено на рис. 4.1. Елементи, з яких він складається були наведені в п. 2.1. Ключовим елементом в контурі є регулятор на позиції 3В. Передавальна функція за обраним каналом керування «Витрата газоподібного етилену → Температура рідкого етилену на виході» (3.17) була розрахована в попередньому розділі. Використовуючи передавальну функцію необхідно підібрати та налаштувати регулятор. Існує безліч способів підбору його параметрів, кожний з яких відповідає тому чи іншому критерію. Спільною вимогою для них всіх є забезпечення виходу системи на усталене значення. Розглянемо деякі з них детальніше.

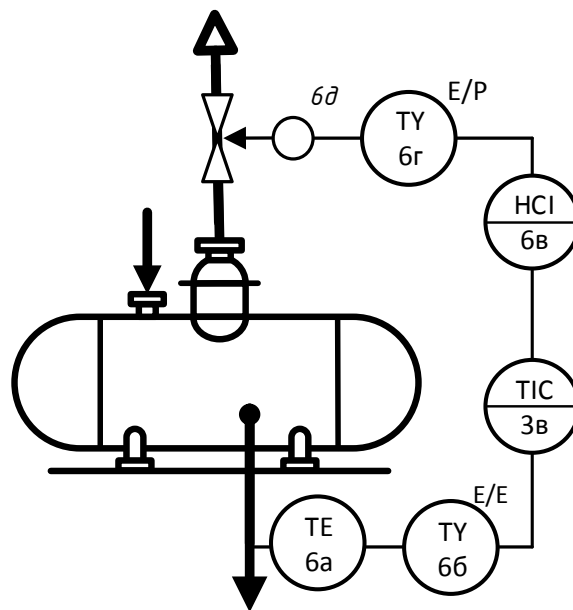


Рисунок. 4.1 Схема контуру керування температурою рідкого етилену на виході

Враховуючи відносну простоту передавальної функції об'єкту керування та її транспортне запізнення (3.17) для роботи обираємо ПІ-регулятор, як найбільш оптимальний варіант.

$$\text{Формула ПІ регулятора: } W_{\text{ПІ}}(s) = K_{\text{П}} + \frac{K_{\text{І}}}{s}, \quad (4.1)$$

де $K_{\text{П}}$, $K_{\text{І}}$ – пропорційний та інтегральний коефіцієнти підсилення відповідно.

Завдання полягає в знаходженні таких параметрів регулятора, що забезпечать наші вимоги до замкнутої системи: швидкість виходу на усталений режим об'єкту керування з регулятором має бути більшою, ніж без регулятора та мінімальне перегулювання від усталеного значення. Ці два критерії беремо в якості орієнтиру для вибору кращого налаштування. Розрахунок параметрів відбувається за допомогою програмного середовища *Matlab*.

Програмне середовище *Matlab* має три різні способи налаштування регуляторів: 1) налаштування за допомогою спеціальної підпрограми *PID Tuner*

2) налаштування за допомогою спеціальної підпрограми *SISO-tool*

3) налаштування за допомогою спеціальної підпрограми *Simulink**.

* *Simulink* не підтримує інтерактивне налаштування на відміну від попередніх методів, тому для розрахунку параметрів для третього методу додатково використовується *PID Tuner*.

Необхідно попередньо створити передавальну функцію для перших двох методів. Це виконується за допомогою спеціальної команди, в якій ми вказуємо параметри нашої передавальної функції:

```
>> W1=tf(-127.1494, [ 276.6812 1]);
```

Але такий варіант не враховує транспортне запізнення, яке також необхідно задати:

```
>> set(W1,'ioDelay',45)
```

PID Tuner це дуже зручний програмний модуль для налаштування регулятора. В ньому можна обрати його тип (від П до ПІД), а також за допомогою двох повзунків (швидкість та кривизна) знаходити оптимальний вигляд перехідної характеристики із запропонованого діапазону (рис.4.2). Програмний модуль сам визначить потрібні значення параметрів регулятора та одразу відобразить графік перехідної характеристики замкненої системи за каналом «Завдання → Вихід» (рис.4.3). Також він дозволяє виводити таблицю зі значеннями параметрів налаштування та показниками роботи замкненої системи (рис.4.4).

Для роботи необхідно завантажити попередньо створену передавальну функцію за допомогою кнопки *Import*. Також програмний модуль дозволяє експортувати отриману систему в робоче середовище *Matlab* за допомогою кнопки *Export*.

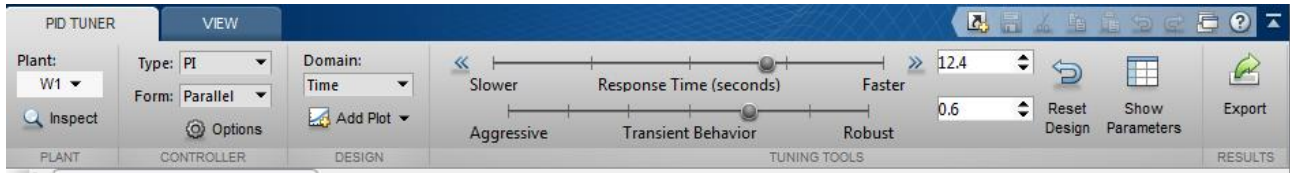


Рисунок. 4.2 Налаштування параметрів системи

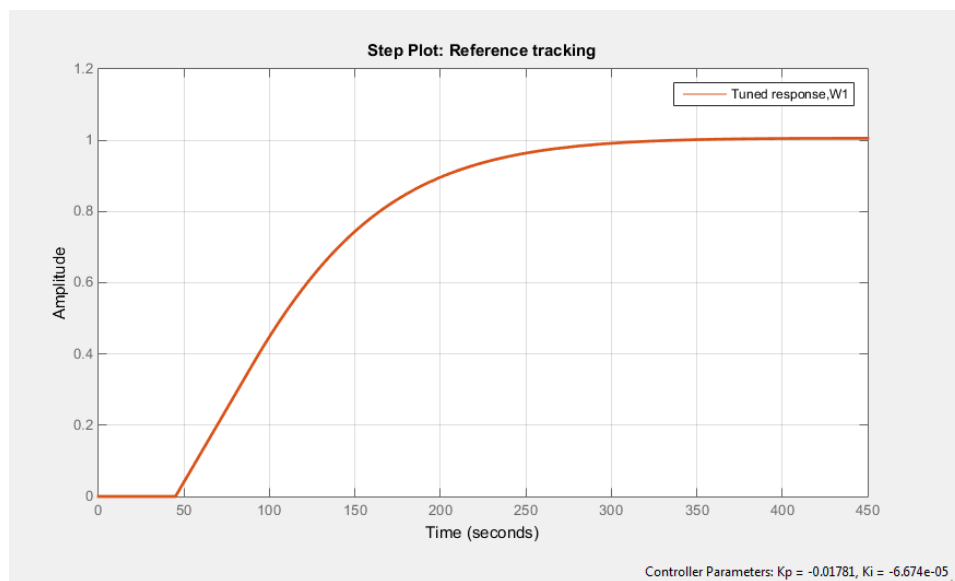


Рисунок 4.3 Перехідна характеристика системи

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	-0.017815
Ki	-6.6739e-05
Kd	
Tf	
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	145 seconds
Settling time	274 seconds
Overshoot	0.548 %
Peak	1.01
Gain margin	12.6 dB @ 0.0348 rad/s
Phase margin	68 deg @ 0.00824 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Рисунок. 4.4 Таблиця характеристик системи

Програмне середовище *SISOTool* аналогічне до *PID Tuner*. В нього також можна завантажити попередньо створену передавальну функцію об'єкту та обрати й налаштувати потрібний регулятор або компенсаційну ланку. Він не настільки зручний, як перший, але має більше налаштувань та графічного відображення системи (не тільки перехідна характеристика, а й імпульсна чи АФХ і т.д.)

SISOTool дає дві можливості налаштування регулятора:

- 1) автоматичне налаштування попередньо обраного регулятора за попередньо обраним критерієм;
- 2) інтерактивне налаштування попередньо обраного регулятора;

У проекті розглядається перший варіант.

Для запуску програмного середовища використовується команда:

>> sisotool

Вона відкриває вікно редактора (рис.4.5), де можна вибрати структуру системи (рис.4.6), завантажити ланки, як її окремі складові (рис.4.7), обрати та налаштувати регулятор (рис.4.8); та графічне вікно (рис.4.9), в якому відображаються численні графіки та діаграми системи.

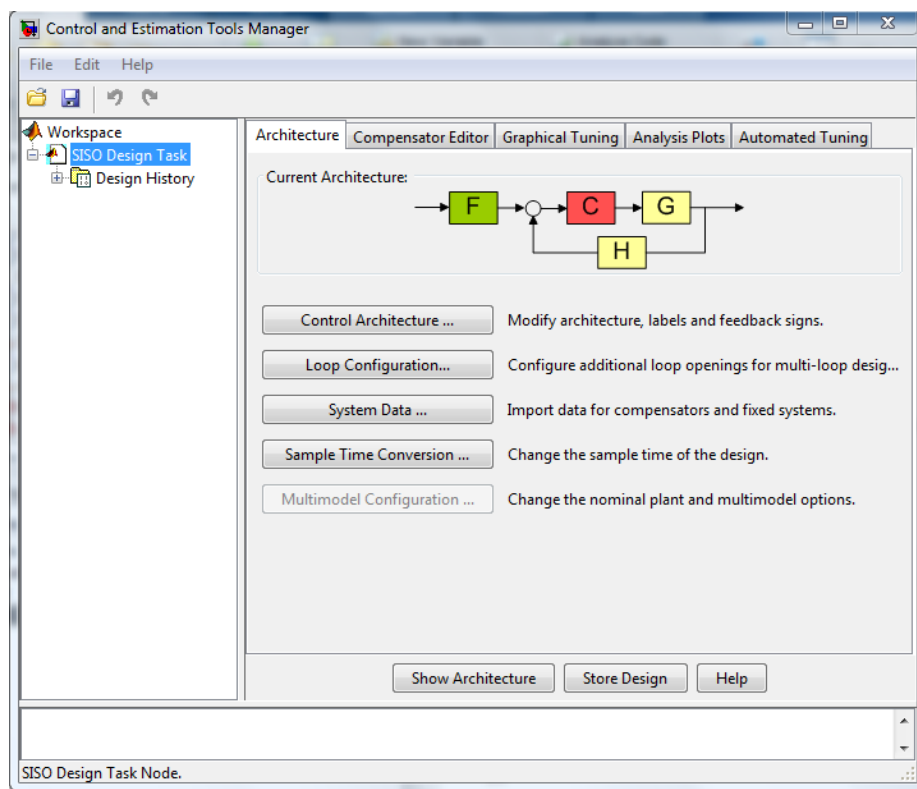


Рисунок 4.5 Таблиця характеристик системи

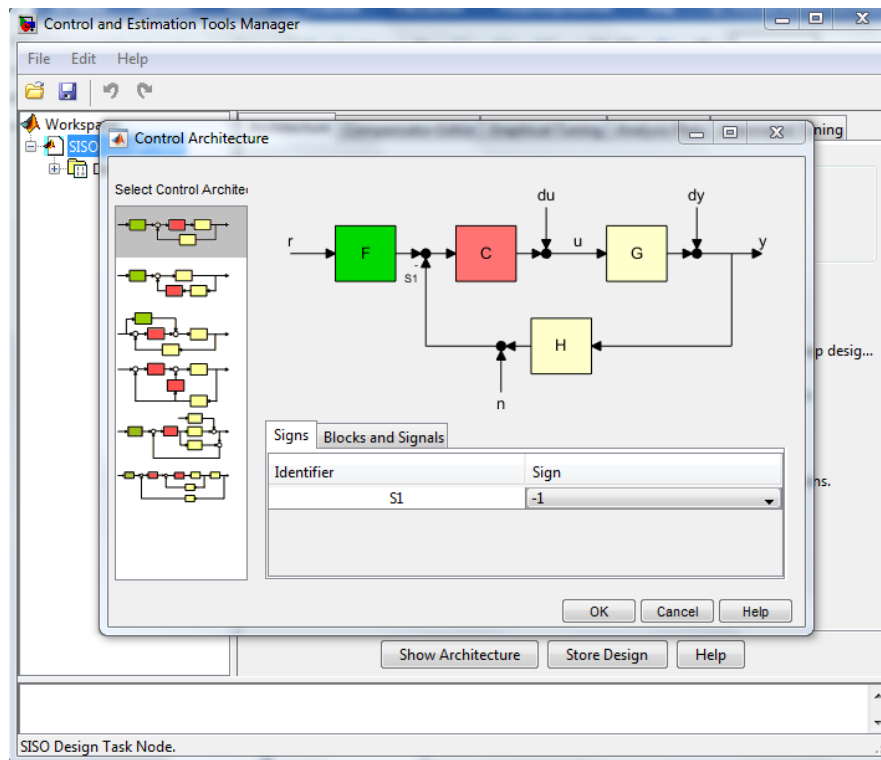


Рисунок 4.6 Структура системи,
де G –об’єкт керування; H – датчик; F — предфільтр (компенсатор); C — регулятор.

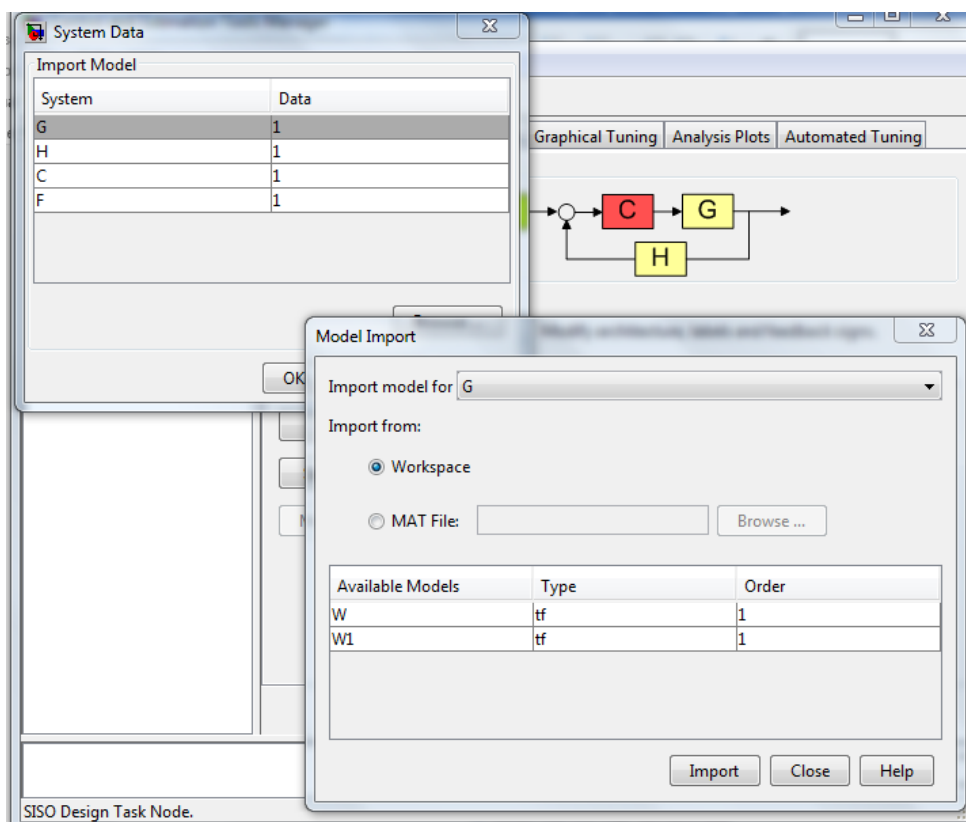


Рисунок 4.7 Вікно імпорту передавальних функцій

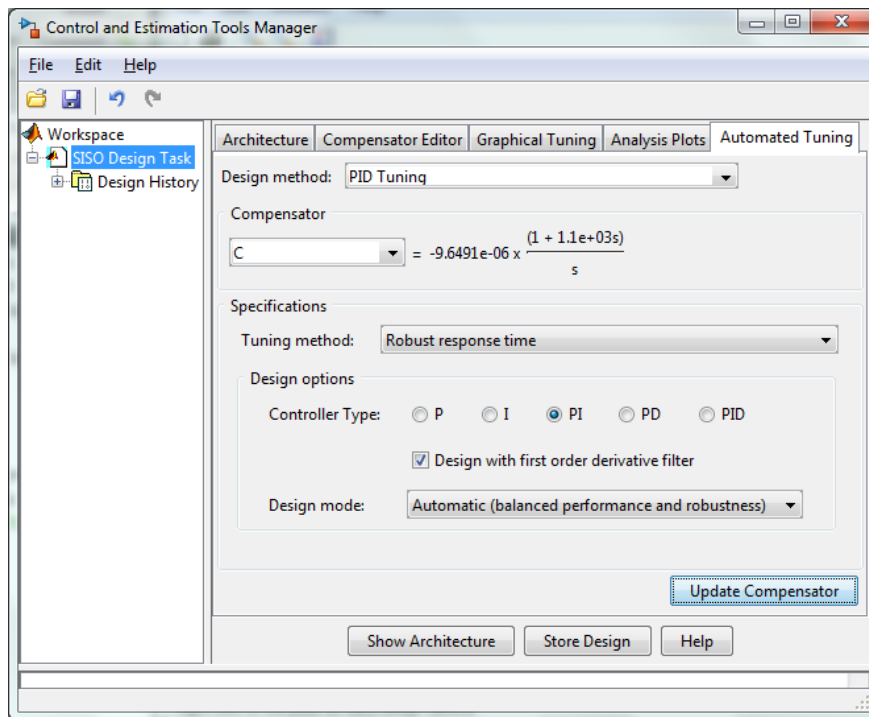


Рисунок 4.8. Вікно налаштування регулятора

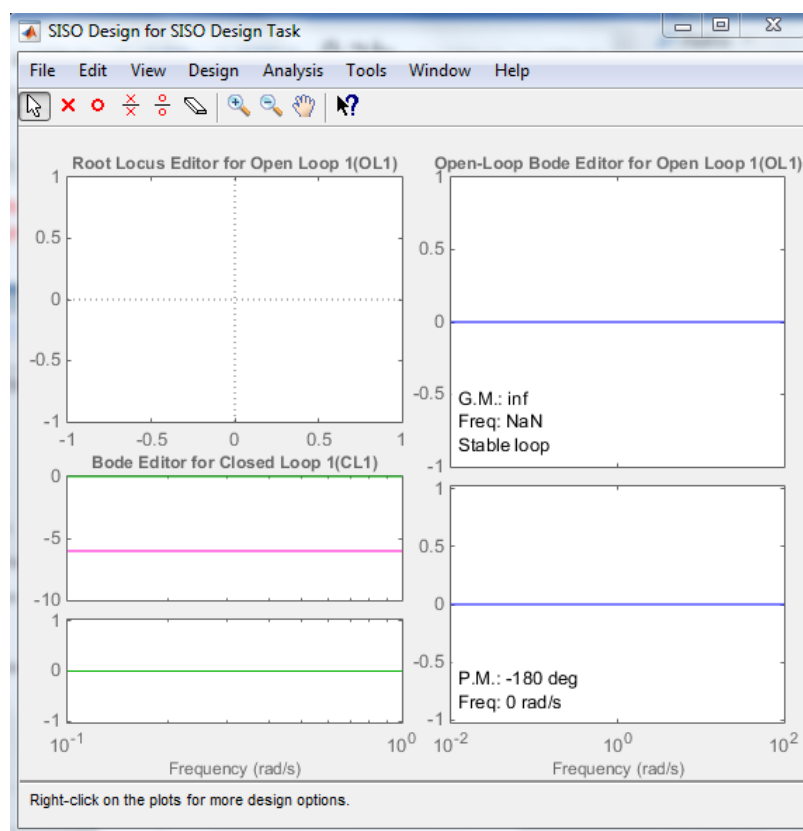


Рисунок 4.9. Графічне вікно з діаграмою Бode та картою нулів та полюсів системи

За допомогою автоматичного налаштування знайдемо потрібні параметри регулятора. Для цього обираємо потрібний нам тип регулятора – ПІ та критерій

налаштування – Approximate MIGO (AMIGO) (рис 4.10). AMIGO один з сучасних методів експериментального налаштування. Базується на представленні об'єкту керування у вигляді інерційної ланки першого порядку [13]. Результат налаштування зображено на рис 4.11.

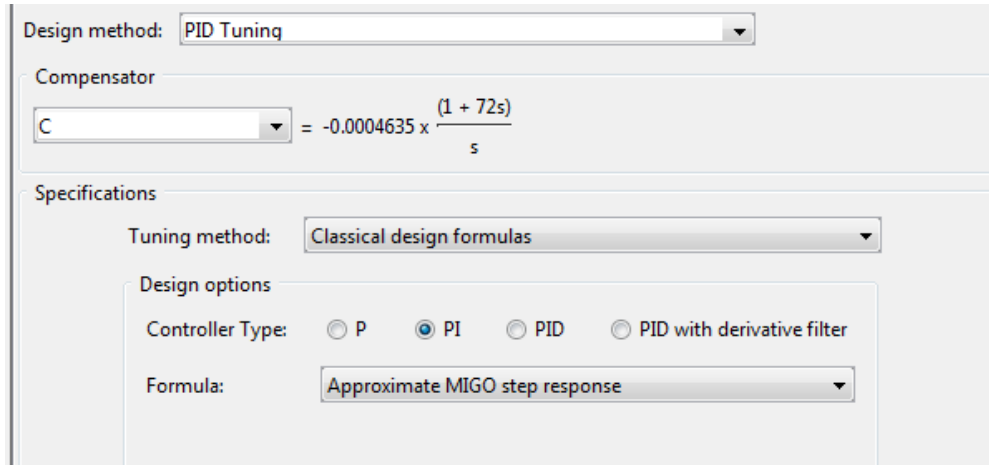


Рисунок 4.10 Налаштування ПІ регулятора

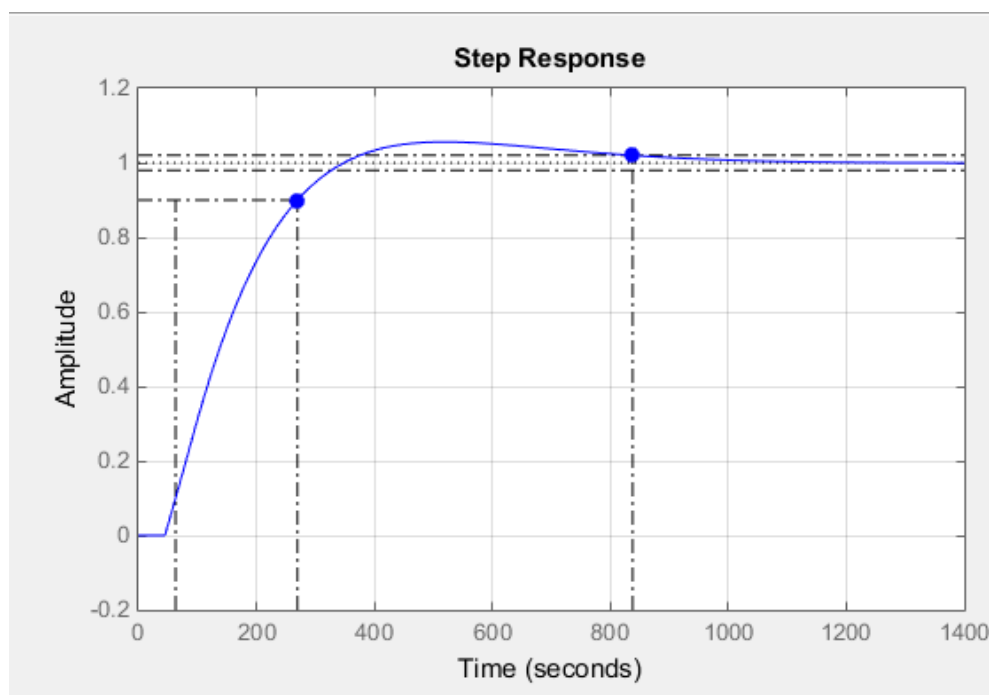


Рисунок 4.11. Перехідна характеристика замкненої системи

Програмне середовище *Simulink* дозволяє створити систему будь-якого вигляду з окремих блоків. Суттєвим недоліком цієї програми є відсутність автоматичного налаштування за заданим критерієм, тому це необхідно виконати самостійно.

Для цього спочатку обираємо методику. Метод Циглера-Нікельса доволі простий, а головне: його доволі просто реалізувати в *Matlab*. Він полягає в знаходженні такого значення налаштування П-регулятора, яке створить незатухаючі коливання. Знайти таке значення можна за допомогою програмного модуля *PID Tuner*, як можна побачити на рис. 4.12. На рис. 4.13 зображено таблицю параметрів системи, де можна побачити, що час виходу на усталений рівень (*settling time*) відсутній.

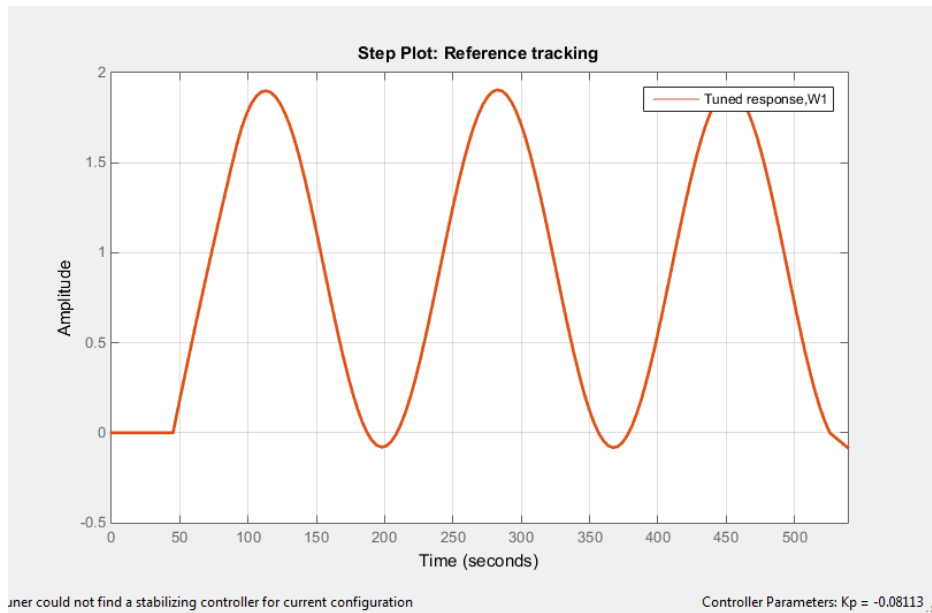


Рисунок 4.12 Незатухаючі коливання системи

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	-0.081125
Ki	
Kd	
Tf	

Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	20.5 seconds
Settling time	NaN seconds
Overshoot	3.22e+06 %
Peak	2.96e+04
Gain margin	-0.00913 dB @ 0.0371 rad/s
Phase margin	-0.0815 deg @ 0.0371 rad/s
Closed-loop stability	Unstable

Рисунок 4.13. Параметри системи на межі стійкості

Отримавши потрібні значення ($K = -0.081125$ та $T = 180$), за допомогою таблиці налаштувань (табл. 4.1), знаходимо параметри регулятора: $K_P = 0,45 \cdot (-0.081125) = -0,03650625$, $K_I = 0.54 \cdot (-0.081125) / 180 = -0,000243375$.

Matlab за умовчанням все має виводить в додатну площину на умовну одиницю, а передавальна функція (3.17) в свою чергу має від'ємний коефіцієнт підсилення, тому автоматично розраховані параметри регулятора – від'ємні.

Таблиця 4.1. Параметри типових регуляторів [13]

Тип регулятора	K_P	K_I	K_D
П-регулятор	$0,5 \cdot K_P^*$		
ПІ-регулятор	$0,45 \cdot K_P^*$	$0.54 \cdot K_P^* / T^*$	
ПІД-регулятор	$0,6 \cdot K_P^*$	$1.2 \cdot K_P^* / T^*$	$0.075 \cdot K_P^* / T^*$

* параметри, знайденні з рис. 4.12

Тепер користуючись бібліотекою *Simulink* (рис. 4.14), складаємо замкнену систему рис. 4.15, та вводимо отримані значення регулятора рис. 4.16.

Як можна побачити з рис. 4.17 регулятор налаштовано правильно.

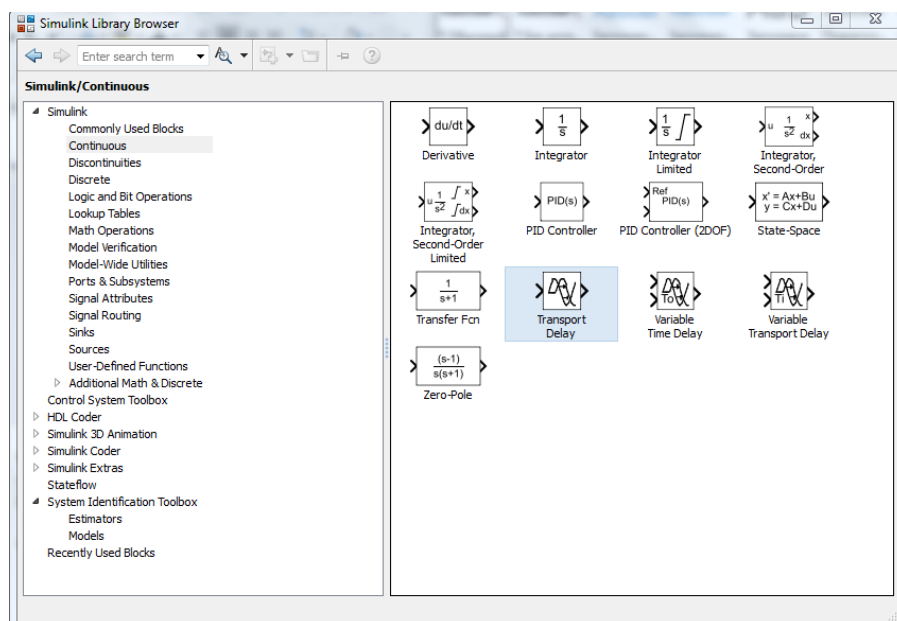


Рисунок 4.14. Каталог блоків програмного середовища *Simulink*

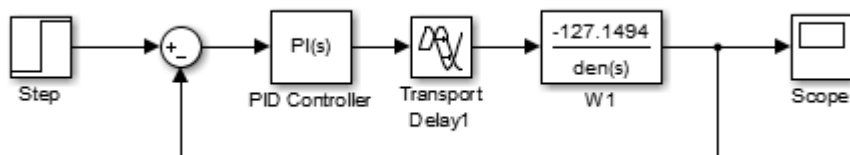


Рисунок 4.15. Структурна схема замкненої системи керування

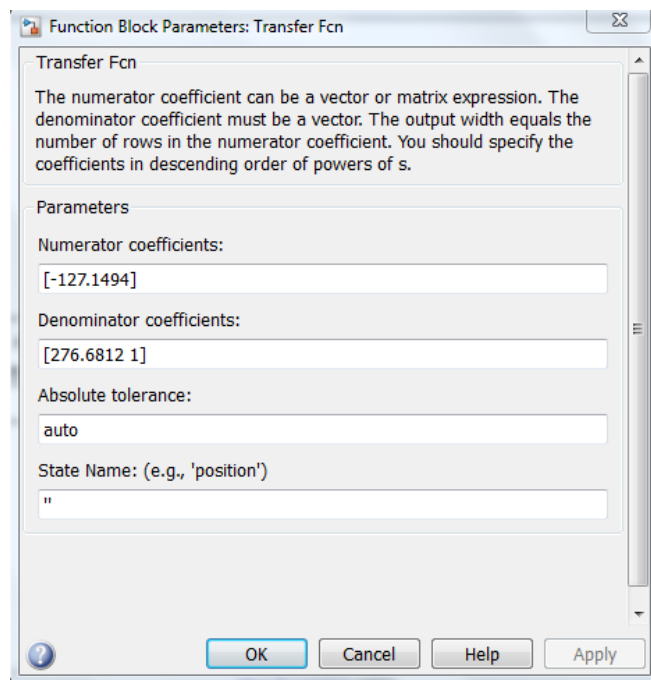


Рисунок 4.16 Вікно налаштувань ПІ регулятора

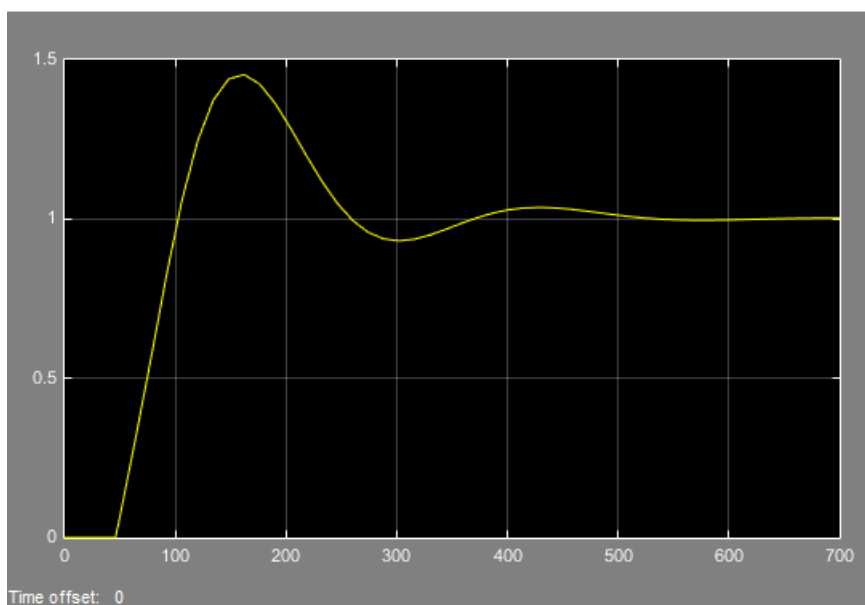


Рисунок 4.17. Перехідна характеристика замкненої системи керування при визначенні параметрів методом Циглера-Нікельса

Порівнявши графіки зображені на рис. 4.3 (*PID Tuner*), рис. 4.11 (*SISOTool*) та рис. 4.17 (*Simulink* з методом Циглера-Нікельса) можна дійти висновку, що за обраними критеріями серед цих трьох методів найкращим є *PID Tuner* з часом виходу на усталений рівень 274 с. та перерегулюванням в 0.548 %. Це забезпечується особливістю підпрограми, яка одразу візуально відображає перехідну характеристику замкнутої системи, дозволяючи цим обрати таку конфігурацію, що найбільше відповідає нашим вимогам. Налаштування за Циглера-Нікельса через *Simulink* не підходить, оскільки воно має дуже значне перерегулювання (майже 45 %) та повільніший вихід на усталений рівень (545 с.). *SISOTool* знаходиться посередині між попередніми методами, оскільки маючи найменшу швидкість (835 с.), йому властиве доволі мале перерегулювання (2.5 %).

4.2. Статична оптимізація керування температури

Альтернативою до підбору та налаштуванню регуляторів є програмне налаштування й знаходження оптимального керування. Контур керування температурою для такого випадку наведено на рис. 4.18.

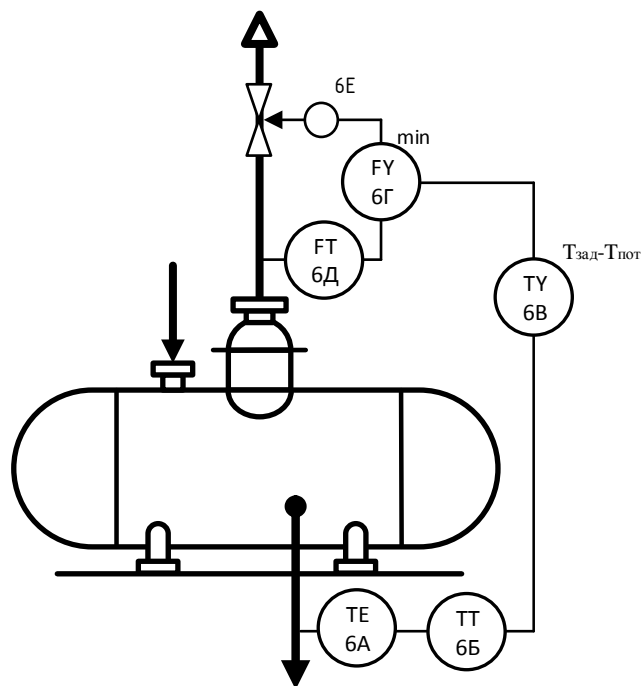


Рисунок 4.18 Схема контуру оптимального керування

Для ефективного та продуктивного виробництва дуже важливо знайти такі оптимальні параметри керування, які ,задовольняючи усі вимоги виробництва, забезпечать раціональне використання ресурсів. Тому дуже важливо правильно оптимізувати систему керування. Для цього необхідно створити спеціальний критерій в який входять температура, як керований параметр, та витрата парів етилену, як керуюча дія. Для виробництва необхідно підтримувати температуру постійною, тому цей параметр характеризуємо найменшим відхиленням від заданого значення. Щодо витрати газоподібного етилену, то вона повинна бути мінімальною, оскільки з її збільшенням зменшується вихід цільової продукції. Виходячи з сутності процесу, що протікає у випарнику, за критерій керування доцільно прийняти зменшення відхилення температури рідкого етилену на виході з апарату при мінімальній його витраті. Критерієм керування ставим квадратичний критерій, бо досліджувана модель лінійна (див Рис. 3.4).

$$I = \left[\frac{1}{2} (\Theta - \Theta^{зад})^2 + \frac{1}{2} Fg^2 \right], \quad (4.2)$$

де $\Theta^{зад} = -104 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Відповідно до технології, для даного апарату не можна змінювати керуючу витрату газоподібного етилену в будь-якому діапазоні. Тому треба задати межі, в яких має знаходитися це значення витрати. Це означає, що обмеженнями вважаємо витрату газоподібного етилену:

$$Fg_{\min} \leq Fg \leq Fg_{\max}, \text{ де } Fg_{\min} = 0 \text{ кг/с, } Fg_{\max} = 2 \text{ кг/с.}$$

Враховуючи взаємопов'язаність параметрів витрати:

$$F_{po} - F_{go} = F_p,$$

можна звести рівняння теплового та матеріального балансів в одне:

$$F_{po} c_p \Theta_o + K S_a (\Theta_{ns} - \Theta) - F_{go} r - (F_{po} - F_{go}) c_p \Theta = 0 \quad (4.3)$$

Маючи статичну модель, критерій оптимальності і обмеження перетворимо задачу умовної оптимізації в безумовну:

Функція Лагранжа:

$$L = \left[\frac{1}{2} (\Theta - \Theta^{zad})^2 + \frac{1}{2} Fg^2 \right] + \lambda (F_{po} c_p \Theta_o + K S_a (\Theta_{ns} - \Theta) - F_{go} r - (F_{po} - F_{go}) c_p \Theta) + K_{ump} \left(\frac{1}{Fg_{max} - Fg} + \frac{1}{Fg - Fg_{min}} \right). \quad (4.4)$$

Необхідні умови оптимальності

$$\frac{\partial L}{\partial \Theta} = (\Theta - \Theta^{zad}) - \lambda K S_a - (F_{po} - F_{go}) c_p \lambda = 0. \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Fg} = Fg - \lambda r + \lambda c_p \Theta + K_{ump} \left(\frac{1}{(Fg_{max} - Fg)^2} - \frac{1}{(Fg - Fg_{min})^2} \right). \quad (4.6)$$

Гradientна процедура

$$Fg^{n+1} = Fg^n - K_0 \frac{\partial L}{\partial Fg}. \quad (4.7)$$

Наведемо алгоритм розрахунку вищезгаданих формул:

- 1) прирівняти керуючу дію Fg до константи (початкова витрата для розрахунку $Fg = 0.01$ кг/с);
- 2) підставивши значення Fg в рівняння теплового балансу, отримати величину керованого параметра Θ ;
- 3) підставити значення параметрів Fg та Θ в рівняння (4.2) та в (4.5), отримати значення I та λ ;
- 4) підставити усі отриманні значення в рівняння (4.6) та отримати $\frac{\partial L}{\partial Fg}$.
- 4) підставити $\frac{\partial L}{\partial Fg}$ в рівняння (4.7) та отримати нове значення витрати;
- 5) повернутись до 2-го пункту;
- 6) провести стільки ітерацій, скільки потрібно для виходу залежності $I=f(N)$ на пряму лінію.

4.2.1 Функція для розрахунку одинарної ітерації

`function [O,I,Fg1]=OPT(Fg)`

%отрим зн-ня температури та критерію при заданій витраті, та розрах наступну витрату

Fpo=0,9;

Cp=1617;

KS= 0.476;

Oo=-95;

r=485;

Ons=16;

O=(Fpo*Oo*Cp-Fg*r+KS*Ons)/(KS+(Fpo-Fg)*Cp);

%знах температ

I=0.5*(O+104)^2+0.5*Fg^2;

%знах критерій

lm=(O+104)/(KS+(Fpo-Fg)*Cp);

%знах лямда

dLdF=Fg-lm*r+lm*Cp*O+0.01*(1/((2-Fg)^2)-1/((Fg-0)^2));

Fg1=Fg-0.01*dLdF;

%знах нову витрату

end

4.2.2 Програма для розрахунку і ітерацій та побудови графіків

Fg=0.01;

N=1:36;

for i=1:36;

[O(i),I(i),Fg1(i)]=OPT(Fg);

Fg=Fg1(i);

end

plot(0:35,Fg1);

xlabel('N');

ylabel('Fg1 кг/с');

legend('Fg=f(N)');

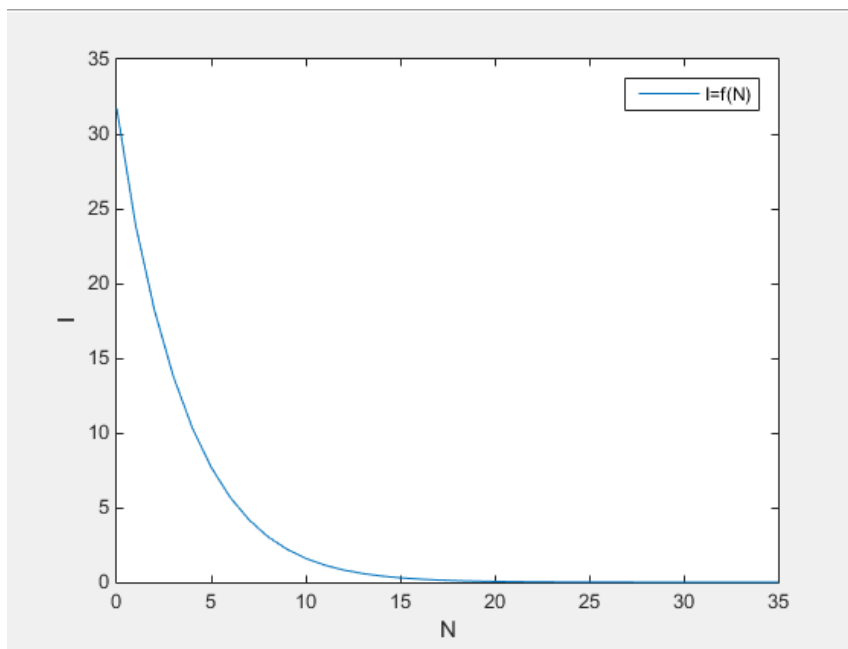
figure;

```

plot(0:35,O);
xlabel('N');
ylabel('O °C');
legend('O=f(N)');
figure;
plot(0:35,I);
xlabel('N');
ylabel('T');
legend('I=f(N)');

```

Результати виконання програми наведено на рис. 4.19, рис. 4.20, рис. 4.21.



Риснок 4.19. Залежність значень критерію оптимальності від ітерацій

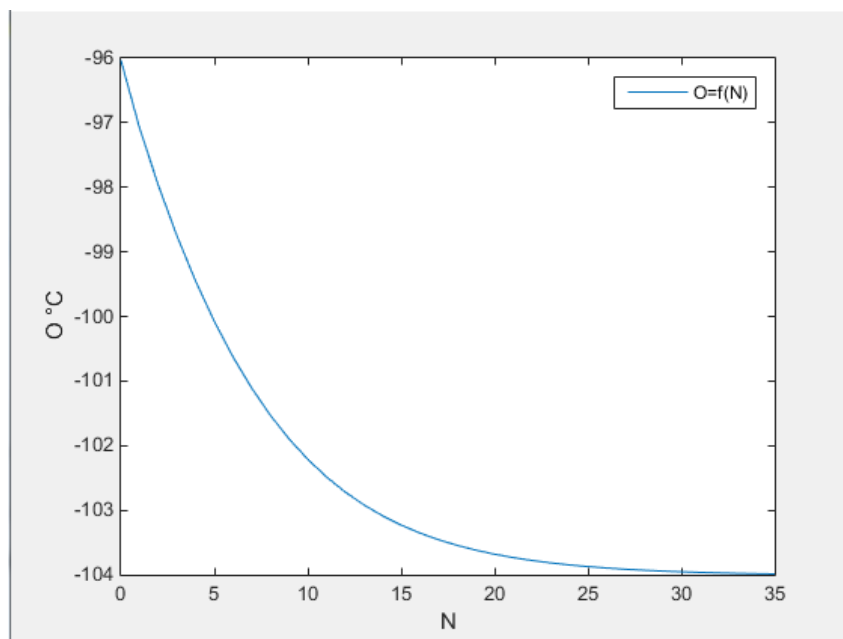


Рисунок 4.20 Залежність зміни керованого параметру від ітерацій

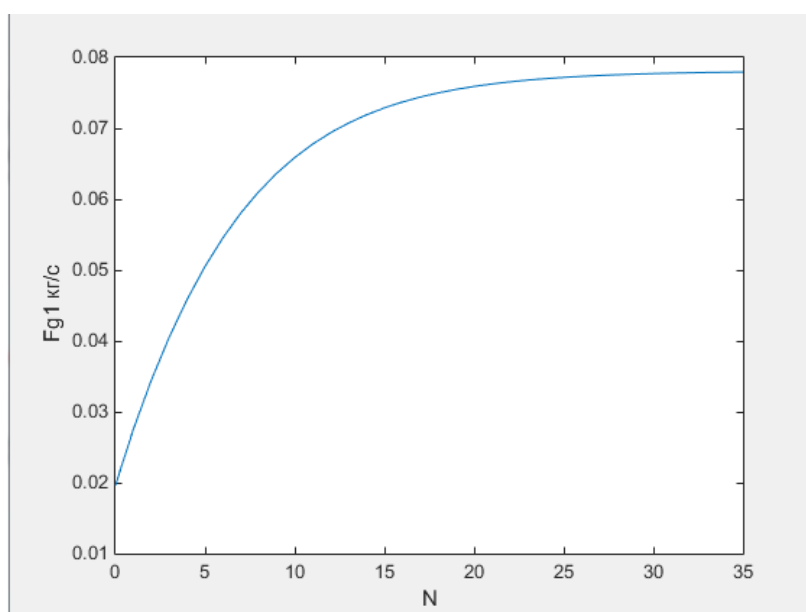


Рисунок 4.21 Залежність зміни керування від ітерацій

Висновок. В четвертому розділі були виконані розрахунки по налаштуванню ПІ регулятора для контуру керування за каналом «Витрата газоподібного етилену → Температура рідкого етилену на виході». Отриманні результати дозволяють обрати найкращий, яким є налаштування за допомогою *PID Tuner*, оскільки цей метод забезпечує виконання попередньо обраних критеріїв: найменше перерегулювання та найшвидший вихід на усталений режим. Додатково була виконана статична оптимізація цього ж каналу керування та розраховане оптимальне значення керувального впливу – 0.077 кг/м^3

5. Охорона праці

Кожна професія характеризується специфічними умовами праці та пов'язаними з ними факторами, які впливають на здоров'я, а інколи і на безпеку життя людини. Підвищення продуктивності виробництва та якості вихідної продукції, збільшення швидкості та потужності машин може призвести до підвищення нервово-психічного навантаження на операторів, та, як наслідок, до збільшення частоти виникнення нещасних випадків і появи професійних захворювань. Тому на всіх підприємствах мають приділяти значну увагу заходам з охорони праці.

Відповідно до тем дипломного проекту «Автоматизація технологічної системи полімеризації ізобутилену» були розроблені спеціальні заходи які гарантують безпеку обслуговуючого персоналу під час експлуатації приладів і засобів автоматизації, та мають відповідати Державними актами. Оскільки керуванням процесу займається оператор, розглянемо можливі небезпечні фактори та засоби захисту саме для даного працівника виробництва.

При обслуговуванні системи автоматизації, оператор знаходиться в операторській. Площа операторської 48 м², висота 3 м, у операторській працюють 2 оператори. На одного працюючого приходить 24 м² площі та 72 м³ повітря.

На робочому місці оператора можливі наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- Повітря робочої зони;
- Виробничий шум;
- Електробезпека;
- Пожежна безпека.

5.1 Повітря робочої зони

Основними параметрами є: температура, відносна вологість, швидкість переміщення повітря та інтенсивність теплового випромінювання. Вони помітно впливають на самопочуття та здоров'я працівника, продуктивність та якість його

праці. Параметри мікроклімату нормуються ДСН 3.3.6.042-99. Норми встановлюються в залежності від періоду року та категорії робіт, що виконуються. Робота оператора з засобами автоматизації відноситься до категорії легких робіт Іа.

Оптимальні умови праці забезпечується, коли повітря відповідає таким параметрам:

1) Холодний період року (середньодобова температура зовнішнього повітря не більше +10 °С):

- Температура повітря, °С – 22...24.
- Відносна вологість повітря, % – 60...40.
- Швидкість руху повітря, м/с – 0,1.

2) Теплий період року (середньодобова температура зовнішнього повітря понад +10 °С):

- Температура повітря, °С – 23...25.
- Відносна вологість повітря, % – 60...40.
- Швидкість руху повітря, м/с – 0,1.

При роботі з засобами автоматизації користувач зазнає теплового впливу на організм від нагрітих поверхонь технологічного устаткування. Цей вплив, що оцінюється густиною потоку енергії інфрачервоних випромінювань.

Таблиця 5.1 Максимально допустима інтенсивність теплового випромінювання

% поверхні тіла користувача	до 25%	від 25 до 50%	50%
Теплове випромінювання	100 Вт/м ²	70 Вт/м ²	35 Вт/м ²

Прийняті технічні рішення для компенсації негативного впливу:

1. Герметизація тепловиділяючого устаткування, теплоізоляція нагрітих поверхонь.

2. У приміщенні операторського пункту передбачена система кондиціювання повітря з автоматичною підтримкою параметрів повітря.

3. Двері всіх приміщень оснащені самозамикальними замками, що відкриваються зсередини без ключа.

4. Операторський пункт оснащений системою опалення для підтримки оптимальних параметрів в холодні періоди року.

Отже, вище перераховані заходи задовольняють необхідні значення параметрів визначені нормам ДСН 3.3.6.042-99.

5.2 Виробничий шум

Шум – це хаотичне поєднання звуків різної частоти та інтенсивності. Він може викликати різні загально-біологічні роздратування; тривала дія інтенсивного шуму викликає патологічні зміни, функціональні розлади і механічні пошкодження. Джерелом шуму у виробництві є мотори, трубопроводи та насоси, конвеєр, прилади пульта керування. Шум погіршує точність виконання робочих операцій, ускладнює прийом і сприйняття інформації, знижує продуктивність праці, збільшує брак в роботі, створює передумови до виникнення нещасних випадків.

Для протидії цьому негативному явищу застосовуються індивідуальні та колективні заходи. До індивідуальних належить спеціальний інвентар: навушники, каски, вушні вкладиші. До колективних відносяться акустичні (звукоізоляція та віброізоляція приміщення операторської за допомогою спеціальних матеріалів: трипаст, пластобетон, войлок і т.д), архітектурно-планувальні (раціональне розміщення технологічного устаткування, машин і механізмів, робочих місць) та організаційно-технічні (застосування мал шумних машин і установок).

Завдяки використаним заходам фактичний шум не перевищує рівень звукового тиску в 65 дБА, що цілком відповідає нормам ДСН 3.3.6.037-99.

5.3 Електробезпека

Приміщення операторської відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою по ступеню ураження електричним струмом, так як працівники мають справу з металевими корпусами електроустаткування та приладів, а також струмопровідних поверхонь. У операторській встановлені прилади, що працюють під

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						72
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

напругою 220/380 В, частотою 50 Гц; мережа з ізолюваною нейтраллю. В частині приміщення, де знаходиться силова частина системи автоматики, всі електричні шафи мають закриті виконання, що виключає випадкове доторкання до струмоведучих частин.

Основними причинами електротравматизму є:

- 1) ушкодження струмопровідних ліній електрокабелів, порушення ізоляції і заземлення щитів, пультів і електроустаткування;
- 2) неправильна експлуатація переносного освітлення;
- 3) порушення правил електробезпеки при експлуатації електричного устаткування і освітлення;
- 4) робота на несправному устаткуванні;
- 5) дотик до відкритих проводок струмопровідних частин;
- 6) пробій на установці (напруга дотику);
- 7) крокова напруга;
- 8) електрична дуга.

Безпечна експлуатація електроустановок забезпечується:

- 1) конструкцією електроустановок;
- 2) технічними засобами захисту;
- 3) організаційними заходами.

До організаційних заходів захисту від ураження електричним струмом відносяться:

- 1) призначення осіб, які відповідають за організацію та проведення робіт;
- 2) оформлення наряду чи розпорядження на проведення робіт;
- 3) організація нагляду за проведенням робіт;
- 4) перерв у роботі, переведення на інші робочі місця.

До технічних заходів захисту від ураження електричним струмом відносяться:

- 1) Ізоляція в електроустановках: поверхню струмоведучих елементів покривають спеціальним шаром діелектрика з опором не менше 0.5 МОм.

2) Орієнтація в електроустановках: засоби орієнтації дозволяють персоналу орієнтуватися при виконанні робіт і застерігають його від помилкових дій; ними є маркування частин електрообладнання.

3) Захисне заземлення в аварійному режимі: захист від високого потенціалу і статичної електрики виконуються шляхом приєднання на вводах у будівлі усіх металевих трубопроводів та металевих частин будівельних конструкцій до пристрою заземлення ПУЕ-7.

4) Мала напруга: для живлення систем автоматики використовується однофазна мережа 24 В змінного струму, яка забезпечується завдяки однофазним трансформаторам 380/24 В.

5) Попереджувальна сигналізація.

6) Забезпечення недосяжності неізольованих струмопровідних частин: в частині приміщення, де знаходиться силова частина системи автоматики, всі електричні шафи мають закриті виконання, що виключає випадкове доторкання до струмоведучих частин.

До роботи на електроустановках допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли інструктаж та навчання з безпечних методів праці, перевірку знань правил безпеки та інструкцій відповідно до займаної посади.

Перечисленні вище заходи задовольняють вимоги норм ДСТУ 7237:2011.

5.4 Пожежна безпека

В операторській при короткому замиканні може відбутися загорання кабелів, з виділенням диму і отруйних речовин. Іншою причиною може бути займання таких матеріалів як папір, дерево чи пластик, що наявні в приміщенні. Відповідно до класифікації пожежонебезпечних зон, приміщення пульта керування відноситься до класу П1. Пульт керування та виробничі приміщення відносяться до приміщень категорії В — пожежонебезпечної. У операторській передбачений прямий телефонний зв'язок з пожежною охороною підприємства.

Основними причинами виникнення пожежі можуть бути:

- 1) порушення елементарних правил пожежної безпеки;
- 2) несправність електроустаткування, електромереж;

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						74
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3) порушення електротехнічних правил;

4) загоряння газів;

Пожежна безпека забезпечується:

- системою запобігання пожежі;
- системою протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

Для запобігання пожежі прийняті наступні міри:

- розеточна мережа захищена пристроями диференційного захисту від короткого замикання і струмів тривалих перевантажень;
- розподільна мережа напругою (380/220) В виконана проводами у негорючих поліпропіленових трубах, прокладених приховано в стінах і підлозі;
- не застосовуються проводи і кабелі з ізоляцією з вулканізованої гуми;
- на двері вивішується план евакуації людей і правила пожежної безпеки.

Дотримуються наступні запобіжні заходи:

- несправне устаткування негайно відключається;
- після закінчення роботи всі електроустановки відключаються;
- не допускається застосування електричних обігрівачів і кип'ятильників.

При експлуатації технічних засобів автоматичної пожежної сигналізації передбачено:

- використання пожежних сповіщувачів згідно умов їх експлуатації;
- гучномовне оповіщення персоналу про пожежу;
- світлозвукове оповіщення персоналу про пожежу.

Не можна розподіляти протипожежні заходи на більш важливі та менш важливі, оскільки невиконання будь-яких з них може призвести до аналогічних наслідків.

Цех оснащується первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники, лопата, ящик з піском, багор, відро), що розташовані на пожежному щиті. Приміщення обладнане протипожежним водогоном. Для виявлення початкової стадії пожежі, установлені засоби автоматичної пожежної сигналізації (СПД-3.2), що

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
						75
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

реагують на появу диму. Також використовуються сповіщувачі ручної дії кнопочного типу (СПРА), що встановлені на помітних місцях. Система електроживлення має блокування для відключення. Допустима відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу – 7,5 м.

При виникненні пожежі терміново викликається пожежна охорона. Також проводиться евакуація людей в безпечне місце та, по можливості, ізоляція горючих матеріалів від джерела вогню, гасіння пожежі засобами пожежогасіння, дотримуючись правил техніки безпеки. Засоби пожежогасіння відповідають вимогам “Інструкції по утриманню та застосуванню засобів пожежогасіння на підприємствах”. Для гасіння електропроводок і електроустаткування під напругою передбачені порошкові вогнегасники (ВП-5(з)) чи вуглекислотні вогнегасники (ОУ-5).

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		76

Висновок

В дипломному проекті завдяки зібраним та проаналізованим даним з відкритих джерел інформації про процес полімеризації ізобутилену був виконаний цілий ряд завдань.

Була створена схема автоматизації всього виробництва, принципова електрична схема дистанційного керування з аварійним захистом і технологічним блокуванням електродвигунів, монтажно-комутаційна схема до системи дистанційного керування з аварійним захистом і технологічним блокуванням електродвигунів. Також в роботі була розрахована точність та надійність контуру контролю температури.

До обраного об'єкту керування – випарника, була розроблена повна математична модель, розрахована статична характеристика за каналом керування «Витрата газоподібного етилену – температура рідкого етилену на виході», за цим же каналом знайдена його передавальна функція та побудована перехідна характеристика.

На основі створеної моделі була синтезована замкнута система керування з ПІ регулятором; був обраний найоптимальніший варіант налаштування регулятора з трьох розглянутих. Додатково була проведена статична оптимізація керування температури та розраховане оптимальне значення керувального впливу.

Також в дипломному проекті розглянуто питання техніки безпеки на виробництві.

Запропоновані в дипломному проекті рішення задач дозволять забезпечити:

- підтримку необхідні для полімеризації умов
- зменшення впливу людського фактору на виробництві
- зменшення непродуктивних витрати ресурсів на виробництві
- збільшення ефективності виробництва в цілому

Список використаної літератури:

1. Поліізобутилен [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://chem21.info/page/142148157254067011240225215029073139156148079027/>.
2. Сангалов Ю. А. Полимеры и сополимеры изобутилена: фундаментальные проблемы и прикладные аспекты / Ю. А. Сангалов, К. С. Минскер. – Уфа: Гилем, 2001. – 384 с. – Библиогр.: с. 292–295. –300 экз. ISBN 5-7501-0254-8
3. Технологія полімерів Поліізобутилен [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://bibliograph.com.ua/spravochnik-52/5.htm>.
4. Полиизобутилен: структура молекулы, химические и физические свойства, реакции основной цепи. Полимеризации в присутствии различных катализаторов. Растворители, ускорители, стабилизаторы. Технологическая схема получения низкомолекулярных полиизо-бутиленов. [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу до ресурсу:
https://revolution.allbest.ru/chemistry/00279096_0.html.
5. Крючков А. П. Общая технология синтетических каучуков Издание второе / А. П. Крючков. – Москва: Государственное Научно-Техническое Издательство Химической Литературы, 1954. – 318 с. – Библиогр.: с. 228–233. –8000 экз.
6. Никонов Є. М. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.05130108 «Хімічні технології високомолекулярних сполук» денної та заочної форм навчання [Електронний ресурс] / Є. М. Никонов // Сумський державний університет. – 2014. – Режим доступу до ресурсу:
lib.sumdu.edu.ua/library/docs/rio/2014/Nykonov_Tekhnolohiia.docx.
7. Насичені вуглеводні як хімічні речовини. Хімічні властивості поліетилену, поліпропілену: способи добування. Фізичний стан поліпропілену, фізико-механічні властивості виробів з нього. Сировина і одержання поліізобутилену, його властивості і застосування. [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу:
https://revolution.allbest.ru/manufacture/00780708_0.html.
8. Юкельсон И. И. Технология основного органического синтеза [Текст] / И. И. Юкельсон. – М.: Вид-во: “Химия”, 1968 г. – с. 848. – Библиогр.: с. 96–98. –16000 экз.
9. Кононенко А. Д. Аналіз процесу виробництва поліізобутилену як об’єкта математичного моделювання [Електронний ресурс] / А. Д. Кононенко, О. А. Жученко // Національний технічний університет України «КПІ», Україна – Режим доступу до ресурсу:
http://www.rusnauka.com/15_NPN_2013/Tecnic/12_138982.doc.htm.
10. ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ» – Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», 2016. – 146 с. – (Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження»)
11. Ф. Шинский. Системы автоматического регулирования химической технологии /Шинский Ф. Н. И. Гельперин, Л. М. Полоцкий, Г. И. Лпшенков, В. И. Хоршев – Москва: Химия, 1974. – 336 с. – Библиогр.: с. 315. –6700 экз.

12. Волошин О. С., Ярощук Л. Д. Випарник етилену як технологічний об'єкт моделювання [Текст] / О. С. Волошин, Л. Д. Ярощук // V Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 22 листопада 2018. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2018 – 360 с. — Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii> ISBN 978-966-612-218-9

13. Синтез систем автоматического управления [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://data.vk.edu.ee/RDDR/RDDR72/Visualiseerimine%20ja%20kontroll/Loeng4.pdf>.

					ДП ЛА52.04.00.000 ПЗ	Лист
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		79

Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Поз. на схемі	Назва параметра	Середовище відбору ін- формації	Граничне значення па- раметра	Місце монтажу	Назва, техні- чна характе- ристика	Тип, марка моделі	Завод- виробник
1	2	3	4	5	6	7	8
Устаткування та прилади							
1А	Темпе- ратура	Рідкий етилен	-40 °С	Трубоп- ровід	Термоперетворювач опору плати- новий, НСХ 50П, діапазон вимі- рювання -50...60 °С, Р _{max} = 25 МПа, довжина монтажною частини 200...3150 мм, захисна арматура – сталь 8Н10Т; інерційність 30 с, клас допуску В	ТСП- 1288	НВО «Електротер- мія», Приладобуді- вний з-д, м. Луцьк
1Б	Те са- ме	Те саме	Те саме	Щит ке- рування	Перетворювач нормувальний, вхідні сигнали: 0...5 мА, 4...20 мА, а також від ТП НСХ В, К, L, S, R та ТО НСХ 50П, 100П, 50М, 100М; клас точності 0,4 (0,5) – залежно від діапазону вимірювання ТП, ТО; І _{вих} = 0...5 (4...20 мА), U _{вих} = 0...10 В; цифровий інтерфейс RS-485	П282	НВО «Електротер- мія», м.Луцьк
1В	Те са-	Те саме	Те саме	Щит ке-	Автоматичний показувальний і реєструвальний МІКРОПРОЦЕ-	ДИСК-	ЗАТ «Промышленная

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

Арк

1

	ме			рування	СОРНИЙ вторинний прилад з пристроєм сигналізації; входні сигнали: 0..10 мВ, 0..100 мВ, 0..1 В, 0..5 мА, 4..20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, А-1; опору – 50П, 100П, 50М, 100М; 0-10 мГн, ± 10 мГн; вихідні сигнали: $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА, $P_{\text{вих}} = 20...100$ кПа в компл. з ЭП-1324, інтерфейс RS-485	250М	група „Метран”», м. Челябінськ
2А	Тиск	Рідкий етилен	16 атм	Трубопровід	Перетворювач тиску - ПД ЗОНД-10-ДИ-1025м 0-6кПа ... 100МПа, 0,5%, вих. 4-20мА, мет. мембрана (Тос (-40 +70), Тіз (-40 + 100С), IP65, шт. М20х1,5 нерж., роз'єм DIN43650, без КМЧ і ДП) - перетворювач (датчик) надлишкового тиску мікропроцесорний	ЗОНД-10ДИ-1025м	ГК Теплоприбор
2Б	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ вторинний прилад; входні сигнали: 0..10 мВ, 0..100 мВ, 0..1 В, 0..5 мА, 4..20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, А-1; опору – 50П, 100П, 50М, 100М; 0-10 мГн, ± 10 мГн; вихідні сигнали: $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА, $P_{\text{вих}} = 20...100$ кПа в компл. з ЭП-1324, інтерфейс RS-485	ДИСК-250М	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябінськ
3А	Температура	Рідкий етилен	-95 °С	Трубопровід	Термоперетворювач опору мідний, Ro =100 Ом, НСХ 100М, діапазон вимірювання -200...200°С	ТСМ (100М)	ОВЕН: Средства автоматизации, КИП и А, АСУТП.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

3Б	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Блок нормуючого перетворення сигналів термоперетворювача опору. Опори: TCM 50M, TCM 100M, Cu50, Cu 100, ТСП 50П, ТСП 100П, Pt 50, Pt 100 Вихід: уніфіковані сигнали постійного струму. Діапазони вимірюваних температур -200 ... + 200 ° С для мідних термоперетворювачів і -200 ... + 850 ° С для платинових.	БПО-32	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
3В, канал 1	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Контролер мікропроцесорний компактний малоканалъном багатофункціональний високопродуктивний. Вхідні сигнали: від ТО з НСХ 100М; уніфіковані аналогові сигнали постійного струму 3 канали. Кількість входів-виходів контролера у базовій моделі: аналогові входу – 4 (2 універсальні, 2 уніфіковані), аналогові виходи – 1; дискретні входи – 3; дискретні виходи – 5. Інтерфейс RS-485	МІК-51	ВАТ «Підприємство “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ
3Г	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Блок ручного управління, АІ1= 4...20мА, живлення 220 В, АО1= 4...20мА, плата комутацій КБЗ-24-19	БРУ-7	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
3Д	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Електропневматичний перетво-	Profibus	Самсон.02660, Київ,

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

Арк

3

	ме			вий	рювач, $I_{вх} = 4...20$ мА, $0...20$ мА, $1...5$ мА, $P_{вих} = 2,5...6,0$ бар	Samson 3767	вул.. М. Расковой 19, оф.905
3Е	Те са- ме	Те саме	Те саме	Трубоп- ровід	Механізм виконавчий пневмати- чний пружинний прямої дії з по- зиціонером типу 3767 і; тиск жи- влення: в діапазоні 1,4...6 бар.	Profibus Samson 3767	Самсон.02660, Київ, вул.. М. Расковой 19, оф.905
4А	Витра- та	Рідкий етилен	-	Трубоп- ровід	Витратомір Коріоліса, діапазон вимірів: $0 ... 400000$ кг / год; Макс. робочий тиск PN 100, Діапазон температур продукту: - $196 ... + 150$ ° С. Діапазон на- вколишньої температури: $-4 ... +$ 60 ($-40 ... + 60$) ° С. вихід: $4 ...$ 20 мА	Proline Promass Q 500	«Endress+ Hauser», Німеччина
4Б	Те са- ме	Те саме	Те саме	Щит ке- рування	Автоматичний показувальний і реєструвальний МІКРОПРОЦЕ- СОРНИЙ вторинний прилад; вхі- дні сигнали: $0...10$ мВ, $0...100$ мВ, $0...1$ В, $0...5$ мА, $4...20$ мА; НСХ перетворювачів: термоелек- тричних – В, К, L, S, А-1; опору – 50Ω , 100Ω , $50M\Omega$, $100M\Omega$; $0-10$ мГн, ± 10 мГн; вихідні сигнали: $I_{вих}$ $=4...20$ мА, $P_{вих} = 20...100$ кПа в компл. з ЭП-1324, інтерфейс RS- 485	ДИСК- 250М	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ
5А	Рівень	Рідкий етилен	0,4 м	Випар- ник	Датчик рівня радіохвильовий ра- дарного рівнеміра РДУ1, ширина вимірювального променя 10 град.; діапазон вимірювання рівня	РДУ1-1- Р5	ЗАТ «Альбатрос», м. Москва

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

					0,5...25 м, мінімальний вимірюваний рівень продукту від дна резервуару - не менше 0,1 м; температура контролюваного продукту – не обмежена, робоча температура навколишнього середовища (-45)...85 °С; тиск контролюваного продукту до 4,0 МПа (на замовлення – до 12,0 МПа)		
5Б	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Блок струмового виходу іскробезпечний радарного рівнеміра РДУ1; $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА; цифровий інтерфейс RS-485, Modbus; виконання вибухозахищене	БТВИ2	ЗАТ «Альбатрос», м. Москва
5В	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ вторинний прилад з пристроєм сигналізації; входні сигнали: 0...10 мВ, 0...100 мВ, 0...1 В, 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, А-1; опору – 50П, 100П, 50М, 100М; 0-10 мГн, ± 10 мГн; вихідні сигнали: $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА, $P_{\text{вих}} = 20...100$ кПа в компл. з ЭП-1324, інтерфейс RS-485	ДИСК-250М	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ
5Г	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Блок керування (електрична уніфікована система приладів автоматичного регулювання «КАС-КАД»); входний сигнал (від регу-	БУ12	ВАТ «Московский завод тепловой автоматики (МЗТА)»,

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

					лятора) 0...5 мА, вихідний (2 канали) – 0...5 мА		м. Москва
5Д	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Блок ручного управління, АІ1= 4...20мА, живлення 220 В, АО1= 0...5мА, плата комутацій КБЗ-24-19	БРУ-7	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
5Е	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Електропневматичний перетворювач, І _{вх} = 4...20 мА, 0...20 мА, 1...5 мА, Р _{вих} = 2,5...6,0 бар	Profibus Samson 3767	Самсон.02660, Київ, вул.. М. Расковой 19, оф.905
5Є	Те саме	Те саме	Те саме	Трубопровід	Механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером типу 3767 і; тиск живлення: в діапазоні 1,4...6 бар.	Profibus Samson 3767	Самсон.02660, Київ, вул.. М. Расковой 19, оф.905
6А	Температура	Рідкий етилен	-104 °С	Трубопровід	Термоперетворювач опору мідний, R ₀ =100 Ом, НСХ 100М, діапазон вимірювання -200...200 °С	ТСМ (100М)	ОВЕН: Средства автоматизации, КИП и А, АСУТП.
6Б	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Блок нормуючого перетворення сигналів термоперетворювача опору. Опори: ТСМ 50М, ТСМ 100М, Cu50, Cu 100, ТСП 50П, ТСП 100П, Pt 50, Pt 100 Вихід: уніфіковані сигнали постійного струму. Діапазони вимірюваних температур -200 ... + 200 ° С для мідних термоперетворювачів і -200 ... + 850 ° С для	БПО-32	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

					платинових.		
3В, канал 2	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Контролер мікропроцесорний компактний малоканалъном багатофункціональний високопродуктивний. Вхідні сигнали від ТО з НСХ 100М; уніфіковані аналогові сигнали постійного струму 3 канали. Кількість входів-виходів контролера у базовій моделі: аналогові входу – 4 (2 універсальні, 2 уніфіковані), аналогові виходи – 1; дискретні входи – 3; дискретні виходи – 5. Інтерфейс RS-485	МІК-51	ВАТ «Підприємство “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ
6В	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Блок ручного управління, АІ1= 4...20мА, живлення 220 В, АО1= 0...5мА, плата комутацій КБЗ-24-19	БРУ-7	м. Івано-Франківськ, вул. Автолїтмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
6Г	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Перетворювач електропневматичний, І _{вх} = 0...5 мА, Р _{вих} = 20...100 кПа; Р _{жив} = 140 кПа; діапазон робочих температур (-30)...50 °С	МТМ 810	ТОВ НВП «Мікротерм», м. Сїверодонецьк
6Д	Те саме	Газоподібний етилен	Те саме	Трубопровід	Механїзм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і верхнім дублером; Р _{живл} = 0,25 МПа	МИМП ППХ 05В	ВАТ «Прикарпатпромарматура», м. Івано-Франківськ
7А	Витрата	Рідкий етилен	-	Трубопровід	Витратомір Коріолїса, діапазон вимірів: 0 ... 400000 кг / год; Макс. робочий тиск PN 100, Діапазон температур продукту: -	Proline Promass Q 500	«Endress+ Hauser», Німеччина

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

					196 ... + 150 ° С. Діапазон на- вколишньої температури: -4 ... + 60 (-40 ... + 60) ° С. вихід: 4 ... 20 мА		
7Б	Те са- ме	Те саме	Те саме	Щит ке- рування	Індикатор технологічний мікро- процесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; Інтер- фейс RS-485	ІТМ-11	ВАТ «Підприємство “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ
8А	Темпе- ратура	Рідкий ізобути- лен	-40 °С	Трубоп- ровід	Термоперетворювач опору плати- новий, НСХ 50П, діапазон вимі- рювання -50...60 °С, Рmax = 25 МПа, довжина монтажною частини 200...3150 мм, захисна арматура – сталь 8Н10Т; інерційність 30 с, клас допуску В	ТСП- 1288	НВО «Електротер- мія», Приладобу- дівний з-д, м. Луцьк
8Б	Те са- ме	Те саме	Те саме	Щит ке- рування	Перетворювач нормувальний, вхідні сигнали: 0...5 мА, 4...20 мА, а також від ТП НСХ В, К, L, S, R та ТО НСХ 50П, 100П, 50М, 100М; клас точності 0,4 (0,5) – залежно від діапазону вимірювання ТП, ТО; Івих = 0...5 (4...20 мА), Uвих = 0...10 В; цифровий інтерфейс RS-485	П282	НВО «Електротер- мія», м.Луцьк
8В	Те са- ме	Те саме	Те саме	Щит ке- рування	Автоматичний показувальний і реєструвальний МІКРОПРОЦЕ- СОРНИЙ вторинний прилад з	ДИСК- 250М	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”»,

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

					пристроєм сигналізації; вхідні сигнали: 0..10 мВ, 0..100 мВ, 0..1 В, 0..5 мА, 4..20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, А-1; опору – 50П, 100П, 50М, 100М; 0-10 мГн, ± 10 мГн; вихідні сигнали: $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА, $P_{\text{вих}} = 20...100$ кПа в компл. з ЭП-1324, інтерфейс RS-485		м. Челябінськ
9А	Рівень	Рідкий етилен	2,5 м	Дозатор	Радарний рівнемір частота електромагнітного сигналу – 94 ГГц, ширина вимірювального променя 4 град.; максимальний діапазон вимірювання рівня 0,6...30 м, температура контролюваного продукту – не обмежена, робоча температура навколишнього середовища в місці встановлення датчика (- 60)...50 °С; $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА; цифровий інтерфейс RS-485, Modbus; виконання вибухозахищене	УЛМ-11	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ
9Б	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ вторинний прилад з пристроєм сигналізації; вхідні сигнали: 0..10 мВ, 0..100 мВ, 0..1 В, 0..5 мА, 4..20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, А-1; опору – 50П, 100П, 50М, 100М; 0-10 мГн, ± 10 мГн; вихідні сигнали: $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА,	ДИСК-250М	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

					$P_{\text{вих}} = 20 \dots 100$ кПа в компл. з ЭП-1324, інтерфейс RS-485		
9В	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Блок керування (електрична уніфікована система приладів автоматичного регулювання «КАС-КАД»); вхідний сигнал (від регулятора) $0 \dots 5$ мА, вихідний (2 канали) – $0 \dots 5$ мА	БУ12	ВАТ «Московский завод тепловой автоматики (МЗТА)», м. Москва
9Г	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Блок ручного управління, АІ1= $4 \dots 20$ мА, живлення 220 В, АО1= $0 \dots 5$ мА, плата комутацій КБЗ-24-19	БРУ-7	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
9Д	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Електропневматичний перетворювач, $I_{\text{вх}} = 4 \dots 20$ мА, $0 \dots 20$ мА, $1 \dots 5$ мА, $P_{\text{вих}} = 2,5 \dots 6,0$ бар	Profibus Samson 3767	Самсон.02660, Київ, вул.. М. Расковой 19, оф.905
9Е	Те саме	Те саме	Те саме	Трубопровід	Механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером типу 3767 і; тиск живлення: в діапазоні $1,4 \dots 6$ бар.	Profibus Samson 3767	Самсон.02660, Київ, вул.. М. Расковой 19, оф.905
10А	Температура	Рідкий ізобутилен	-85°C	Трубопровід	Термоперетворювач опору мідний, $R_0 = 100$ Ом, НСХ 100М, діапазон вимірювання $-200 \dots 200^{\circ}\text{C}$	TCM (100M)	ОВЕН: Средства автоматизации, КИП и А, АСУТП.
10Б	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Блок нормуючого перетворення сигналів термоперетворювача опору. Опори: TCM 50М, TCM 100М, Cu50, Cu 100, ТСП 50П, ТСП 100П, Pt 50, Pt 100	БПО-32	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

					Вихід: уніфіковані сигнали постійного струму. Діапазони вимірюваних температур -200 ... + 200 ° С для мідних термоперетворювачів і -200 ... + 850 ° С для платинових.		
3В, канал 3	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Контролер мікропроцесорний компактний малоканалъном багатофункціональний високопродуктивний. Вхідні сигнали: уніфіковані аналогові сигнали постійного струму 3 канали. Кількість входів-виходів контролера у базовій моделі: аналогові входу – 4 (2 універсальні, 2 уніфіковані), аналогові виходи – 1; дискретні входи – 3; дискретні виходи – 5. Інтерфейс RS-485	МІК-51	ВАТ «Підприємство “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ
10В	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Блок ручного управління, АІ1= 4...20мА, живлення 220 В, АО1= 0...5мА, плата комутацій КБЗ-24-19	БРУ-7	м. Івано-Франківськ, вул. Автолїтмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
10Г	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Перетворювач електропневматичний, І _{вх} = 0...5 мА, Р _{вих} = 20...100 кПа; Р _{жив} = 140 кПа; діапазон робочих температур (-30)...50 °С	МТМ 810	ТОВ НВП «Мікротерм», м. Сїверодонецьк
10Д	Те саме	Те саме	Те саме	Трубопровід	Механїзм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і верхнім дублером; Р _{живл} = 0,25 МПа	МИМП ПІХ 05В	ВАТ «Прикарпат-промарматура», м. Івано-Франківськ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

11А	Витрата	Рідкий етилен	0,00114 м³/с	Трубопровід	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{тр} = 150$ мм;	ДКС 0,6–150	ЗАТ «Манометр-Харьков», м. Харків
11Б	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Вимірювальний тензоперетворювач перепаду тиску з блоком добування квадратного кореня, $\Delta P_{max} = 0,4$ МПа, температура 5...50 °С, матеріал мембрани – сплав 36НХТЮ; $I_{вих} = 0...5; 0(4)...20$ мА	«Сапфир-22ДЛ», мод.2450	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
11В	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; Інтерфейс RS-485	ІТМ-11	ВАТ «Підприємство «МІКРОЛ»», м. Івано-Франківськ
12А	Витрата	Рідкий ізобутилен	0,00114 м³/с	Трубопровід	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{тр} = 150$ мм	ДКС 0,6–100	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
12Б	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Вимірювальний тензоперетворювач перепаду тиску з блоком добування квадратного кореня, $\Delta P_{max} = 0,4$ МПа, температура 5...50 °С, матеріал мембрани – сплав 36НХТЮ; $I_{вих} = 0...5; 0(4)...20$ мА	«Сапфир-22ДЛ», мод.2450	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
12В	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...2 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; Інтер-	ІТМ-11	ВАТ «Підприємство «МІКРОЛ»», м. Івано-Франківськ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

Арк

12

					фейс RS-485		
12Г	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Мікропроцесорний універсальний ПД-регулятор. Вхідні сигнали: уніфіковані 0...5 мА, 0(4)... 20 мА, термоперетворювачі опору мідні з НСХ 50М і 100М; платинові з НСХ 50П, 100П. Здійснює математичне оброблення інформації за різними алгоритмами. Кількість входів-виходів контролера у базовій моделі: аналогові входу – 4 (2 універсальні, 2 уніфіковані), аналогові виходи – 1; дискретні входи – 3; дискретні виходи – 5. Інтерфейс RS-485	МІК-25	ВАТ «Підприємство «МІКРОЛ»», м. Івано-Франківськ
12Д	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Блок ручного управління, АІ1= 4...20мА, живлення 220 В, АО1= 0...5мА, плата комутацій КБЗ-24-19	БРУ-7	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
12Е	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Електропневматичний перетворювач, І _{вх} = 4...20 мА, 0...20 мА, 1...5 мА, Р _{вих} = 2,5...6,0 бар	Profibus Samson 3767	Самсон.02660, Київ, вул.. М. Расковой 19, оф.905
12Є	Те саме	Те саме	Те саме	Трубопровід	Механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером типу 3767 і; тиск живлення: в діапазоні 1,4...6 бар.	Profibus Samson 3767	Самсон.02660, Київ, вул.. М. Расковой 19, оф.905
13А	Витрата	Рідкий етилен	0,00026 м³/с	Трубопровід	Діафрагма камерна, Р _у = 0,6 МПа; D _{тр} = 100 мм;	ДКС 0,6–150	ЗАТ «Манометр-Харьков», м. Харків
13Б	Те са-	Те саме	Те саме	Місце-	Вимірювальний тензоперетворю-	«Сап-	ВАТ «Промпри-

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

Арк

13

	ме			вий	вач перепаду тиску з блоком добування квадратного кореня, $\Delta P_{\text{max}} = 0,4$ МПа, температура $5 \dots 50$ °С, матеріал мембрани – сплав 36НХТЮ. $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5; 0(4) \dots 20$ мА	фир-22ДЛ», мод.2450	лад», м. Івано-Франківськ
13В	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; входні сигнали: $0 \dots 75$ мВ, $0 \dots 200$ мВ, $0 \dots 2$ В, $0 \dots 10$ В, $0 \dots 5$ мА, $4 \dots 20$ мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; Інтерфейс RS-485	ІТМ-11	ВАТ «Підприємство “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ
14А	Витрата	Каталізатор (фтористий бор)	$0,0001 \text{ м}^3/\text{с}$	Трубопровід	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{\text{тр}} = 50$ мм	ДКС 0,6–100	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
14Б	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Вимірювальний тензоперетворювач перепаду тиску з блоком добування квадратного кореня, $\Delta P_{\text{max}} = 0,4$ МПа, температура $5 \dots 50$ °С, матеріал мембрани – сплав 36НХТЮ; $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5; 0(4) \dots 20$ мА	«Сап-фир-22ДЛ», мод.2450	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
14В	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний одноканальний; входні сигнали: $0 \dots 75$ мВ, $0 \dots 200$ мВ, $0 \dots 2$ В, $0 \dots 10$ В, $0 \dots 5$ мА, $4 \dots 20$ мА; виходи: 1 аналоговий і 2 дискретні; Інтерфейс RS-485	ІТМ-11	ВАТ «Підприємство “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ
14Г	Те са-	Те саме	Те саме	Щит ке-	Мікропроцесорний універсаль-	МІК-25	ВАТ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

	ме			рування	ний ПД-регулятор. Вхідні сигнали: уніфіковані 0...5 мА, 0(4)... 20 мА, термоперетворювачі опору мідні з НСХ 50М і 100М; платинові з НСХ 50П, 100П. Здійснює математичне оброблення інформації за різними алгоритмами. Кількість входів-виходів контролера у базовій моделі: аналогові входу – 4 (2 універсальні, 2 уніфіковані), аналогові виходи – 1; дискретні входи – 3; дискретні виходи – 5. Інтерфейс RS-485		«Підприємство “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ
14Д	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Блок ручного управління, АІ1= 4...20мА, живлення 220 В, АО1= 4...20мА, плата комутацій КБЗ-24-19	БРУ-7	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
14Е	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Перетворювач електропневматичний, I _{вх} = 0...5 мА, Р _{вих} = 20...100 кПа; Р _{жив} = 140 кПа; діапазон робочих температур (-30)...50 °С	МТМ 810	ТОВ НВП «Мікротерм», м. Сіверодонецьк
14Є	Те саме	Те саме	Те саме	Трубопровід	Механізм виконавчий мембранний пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і боковим дублером; робоча хода штока (залежно від діаметра мембрани: 160, 200, 250, 320, 400, 500 мм) 10, 16, 25, 40, 60 мм; Р _{живл} = 0, 25 МПа	МИМП ПП 05	ВАТ «Прикарпат-промарматура», м. Івано-Франківськ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

15А	Тиск	Рідкий етилен	16 атм	Трубопровод	Перетворювач тиску - ПД ЗОНД-10-ДИ-1025м 0-6кПа ... 100МПа, 0,5%, вих. 4-20мА, мет. мембрана (Тос (-40 +70), Тіз (-40 + 100С), IP65, шт. М20х1,5 нерж., роз'єм DIN43650, без КМЧ і ДП) - перетворювач (датчик) надлишкового тиску мікропроцесорний	ЗОНД-10ДИ-1025м	ГК Теплоприбор
15Б	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ вторинний прилад з пристроєм сигналізації ; вхідні сигнали: 0..10 мВ, 0..100 мВ, 0..1 В, 0..5 мА, 4..20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, А-1; опору – 50П, 100П, 50М, 100М; 0-10 мГн, ± 10 мГн; вихідні сигнали: $I_{\text{вих}} = 4...20 \text{ мА}$, $P_{\text{вих}} = 20...100 \text{ кПа}$ в компл. з ЭП-1324, інтерфейс RS-485	ДИСК-250М	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ
16А	Рівень	Стабілізатор	0,5 м	Мірник	Рівнемір буйковий з пневматичним передавальним перетворювачем, $L_{\text{max}} = 0,02... 16 \text{ м}$, $p_{\text{доп}} = 4 \text{ МПа}$, температура (-50)...50 °С, відносна вологість 98–100 % (при 35 °С), $I_{\text{вих}} = 0...5 \text{ мА}$.	УБ-Е	ВО «Теплоприбор», м. Рязань
16Б	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ вторинний прилад; вхідні сигнали: 0..10 мВ, 0..100 мВ, 0..1 В, 0..5 мА, 4..20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних	ДИСК-250М	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

					– $B, K, L, S, A-1$; опору – 50П, 100П, 50М, 100М; 0-10 мГн, ± 10 мГн; вихідні сигнали: $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20$ мА, $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100$ кПа в компл. з ЭП-1324, інтерфейс RS-485		
16В	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Блок керування (електрична уніфікована система приладів автоматичного регулювання «КАС-КАД»); вхідний сигнал (від регулятора) 0...5 мА, вихідний (2 канали) – 0...5 мА	БУ12	ВАТ «Московский завод тепловой автоматики (МЗТА)», м. Москва
16Г	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Перетворювач електропневматичний, $I_{\text{вх}} = 0 \dots 5$ мА, $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100$ кПа; $P_{\text{жив}} = 140$ кПа; діапазон робочих температур (-30)...50 °С	МТМ 810	ТОВ НВП «Мікротерм», м. Сіверодонецьк
16Д	Те саме	Те саме	Те саме	Трубопровід	Механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і верхнім дублером; $P_{\text{живл}} = 0,25$ МПа	МИМП ППХ 05В	ВАТ «Прикарпатпромарматура», м. Івано-Франківськ
17А	Витрата	Стабілізатор	0,00124 м³/с	Трубопровід	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа; $D_{\text{тр}} = 100$ мм	ДКС 0,6–50	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
17Б	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Вимірювальний тензоперетворювач перепаду тиску з блоком добування квадратного кореня, $\Delta P_{\text{max}} = 0,4$ МПа, температура 5...50 °С, матеріал мембрани – сплав 36НХТЮ; $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5$; 0(4)...20 мА	«Сапфир-22ДД», мод.2450	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
17В	Те са-	Те саме	Те саме	Щит ке-	Автоматичний показу вальний і	ДИСК-	ЗАТ «Промышлен-

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

Арк

17

	ме			рування	реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М	250	ная група «Метран»», м. Челябінськ
18А	Витрата	Газова суміш	-	Трубопровід	Діафрагма камерна, Р _у = 0,6 МПа; D _{тр} = 50 мм	ДКС 0,6–100	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
18Б	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Вимірювальний тензоперетворювач перепаду тиску з блоком добування квадратного кореня, ΔР _{max} = 0,4 МПа, температура 5...50 °С, матеріал мембрани – сплав 36НХТЮ; I _{вих} = 0...5; 0(4)...20 мА	«Сапфир-22ДП», мод.2450	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
18В	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад; вхідні сигнали: 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М	ДИСК-250	ЗАТ «Промышленная группа «Метран»», м. Челябінськ
19А	Витрата	Негашене Вапно	2 м/с	Трубопровід	Сенсор витратоміра для вимірювання витрати сипких речовин DensFlow; робоча частота 100 кГц, діапазон швидкостей сипкого продукту 1...10 м/с; робоча температура: електроніки сенсора (-20)...60 °С, процесу (труба сенсора) – (-20)...+80 °С (вище – на	Dens Flow-S	Компанія SWR engineering Messtechnik GmbH, Німеччина

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

Арк

18

					замовлення), робочий тиск – до 1,6 МПа (2,5 МПа)		
19Б	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Модуль обробки витратоміра для вимірювання витрати сипких речовин Dens Flow, робоча температура модуля обробки – (-10)...+45 °С; <i>вихідні сигнали</i> : витрата: 4...20 мА, швидкість: 4...20 мА, щільність: 4...20 мА, послідовний інтерфейс RS-485 (протокол Modbus), блок управління – РК-дисплей з підсвічуванням	DME 100	Компанія SWR engineering Messtechnik GmbH, Німеччина
19В	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ вторинний прилад; <i>вхідні сигнали</i> : 0...10 мВ, 0...100 мВ, 0...1 В, 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, А-1; опору – 50П, 100П, 50М, 100М; 0-10 мГн, ± 10 мГн; <i>вихідні сигнали</i> : $I_{\text{вих}} = 4...20 \text{ мА}$, $P_{\text{вих}} = 20...100 \text{ кПа}$ в компл. з ЭП-1324, інтерфейс RS-485	ДИСК-250М	ЗАТ «Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ
19Г	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Мікропроцесорний універсальний ПД-регулятор. <i>Вхідні сигнали</i> : уніфіковані 0...5 мА, 0(4)... 20 мА, термоперетворювачі опору мідні з НСХ 50М і 100М; платинові з НСХ 50П, 100П. Здійснює математичне оброблення інформації за різними алгоритмами. Кількість входів-	МІК-25	ВАТ «Підприємство “МІКРОЛ”», м. Івано-Франківськ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

Арк

19

					виходів контролера у базовій моделі: аналогові входу – 4 (2 універсальні, 2 уніфіковані), аналогові виходи – 1; дискретні входи – 3; дискретні виходи – 5. Інтерфейс RS-485		
19Д	Те саме	Те саме	Те саме	Щит керування	Блок ручного управління, АІ1= 4...20мА, живлення 220 В, АО1= 0...5мА, плата комутацій КБЗ-24-19	БРУ-7	м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»
19Е	Те саме	Те саме	Те саме	Місцевий	Перетворювач електропневматичний, І _{вх} = 0...5 мА, Р _{вих} = 20...100 кПа; Р _{жив} = 140 кПа; діапазон робочих температур (-30)...50 °С	МТМ 810	ТОВ НВП «Мікротерм», м. Сіверодонецьк
19Є	Те саме	Те саме	Те саме	Трубопровід	Механізм виконавчий пневматичний пружинний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і верхнім дублером; Р _{живл} = 0,25 МПа	МИМП ППХ 05В	ВАТ «Прикарпатпромарматура», м. Івано-Франківськ
20А	Концентрація	Газоподібний етилен	50-100 %	Трубопровід	Датчик-газоаналізатор стаціонарний оптичний вибухозахищений одноканальний. Режим роботи: безперервний. Тип сенсора інфрачервоний. Вихідні сигнали: триколірна світлодіодна індикація (червоний, зелений, жовтий); уніфікований аналоговий сигнал (4 - 20 мА); інформаційний цифровий сигнал по стандартному каналу зв'язку RS-485. Час прогріву газоаналізатора 10 хв. Діапазон температури, від -60 до +90 °С	СГОЭС-М11	АО "Электронстандарт-прибор" г. Москва
20Б	Те са-	Те саме	Те саме	Щит ке-	Автоматичний показувальний і	ДИСК-	ЗАТ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

Арк

20

	ме			рування	реєструвальний МІКРОПРОЦЕ- СОРНИЙ вторинний прилад; вхідні сигнали: 0..10 мВ, 0..100 мВ, 0..1 В, 0..5 мА, 4..20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, А-1; опору – 50П, 100П, 50М, 100М; 0-10 мГн, ± 10 мГн; вихідні сигнали: $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА, $P_{\text{вих}} = 20...100$ кПа в компл. з ЭП-1324, інтерфейс RS-485	250М	«Промышленная группа „Метран”», м. Челябинськ
Електроапарати							
МП1...МП7	-	-	-	Місцевий	Пускач магнітний безконтактний нереверсивний з тепловим реле РТТ-326 136-160А, кнопками «ПУСК» і «СТОП» для керування трифазними асинхронними електродвигунами з короткозамкнутим ротором; номінальний робочий струм 160 А; додаткові контакти: 2 н. р. і 2 н. з.; номінальна робоча напруга 220, 380, 660 В, номінальна потужність 45 кВт; можуть застосовуватись у схемах з мікропроцесорною технікою	ПМ12-160210 У2 В	ВАТ «Кашинский завод электроаппаратуры», м. Москва
КМ1... КМ8	-	-	-	Місцевий	Контактор електромагнітний; номінальний струм контактів головного кола 250 А (50 Гц), но-	КТ-5032Б	ВО «Электроприбор», м. Чербоксари

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

					мінальна напруга 400 В; додаткові контакти: 3 н. р. і 3 н. з.;		
SB1...SB14	-	-	-	Щит керування	Пост управління кноповий, кількість елементів управління – 2; номінальна напруга ізоляції (за змінного струму частотою 50/60 Гц) 660 В, номінальний тепловий струм 10 А; температура довкілля від (-40) °С до 40 °С, відносна вологість повітря 98 %, комутаційна зносостійкість 1 000 000 циклів	ПКУ 15-21-131 УЗ	ЗАТ «Променергоавтоматика», м. Київ
SA1...SA7	-	-	-	Місцевий	Кнопка запобіжного вимикання; номінальна робоча напруга: змінна (частота 50/60 Гц) 660 В, постійна – 440 В, номінальний тепловий струм – 10 А	КМЕ-5111 УЗ	ТОВ «Кам'янець-Подільський електро-механічний завод»
HL1... HL8,	-	-	-	Щит керування	Лампа сигнальна світлодіодна із жовтим індикатором $U_{\text{жив}} = 220$ В, 50/60 Гц, $d = 27$ мм, сила світла 20 мКд	СКЛ-11-Ж-2-220	ВАТ «Кашинский завод электроаппаратуры», м. Москва

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

HL9, HL11, HL15, HL19, HL23, HL25, HL29	-	-	-	Щит ке- рування	Лампа сигнальна світлодіодна із зеленим індикатором («ПУСК»), $U_{\text{жив}} = 220 \text{ В}$, 50/60 Гц, $d = 27 \text{ мм}$, сила світла 20 мКд	СКЛ-11- 3-2-220	ВАТ «Кашинский завод электроаппа- ратуры», м. Москва
HL10, HL24, HL12...HL14, HL16...HL18, HL20...HL22, HL26...HL28, HL30	-	-	-	Щит ке- рування	Лампа сигнальна світлодіодна із червоним індикатором («СТОП»), $U_{\text{жив}} = 220 \text{ В}$, 50/60 Гц, $d = 27 \text{ мм}$, сила світла 20 мКд	СКЛ-11- К-2-220	ВАТ «Кашинский завод электроаппа- ратуры», м. Москва
21Б...24Б	-	-	-	Щит ке- рування	Індикатор технологічний мікро- процесорний одноканальний; вхідні сигнали: 0...75 мВ, 0...200 мВ, 0...5 мА, 4...20 мА; виходи: 1 аналоговий 1 2 дискретні; Інтерфейс RS-485	ІТМ-11	ВАТ «Підприємство «МІКРОЛ»», м. Івано-Франківськ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.04.00.000

Арк

23